

**PENGARUH VARIASI RASIO TULANGAN LONGITUDINAL
BAMBU PADA KOLOM RETROFIT DENGAN METODE JAKET
BETON**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**NGAKAN MADE NABIL AKMAL
NIM. 145060101111039**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN**PENGARUH VARIASI RASIO TULANGAN LONGITUDINAL
BAMBU PADA KOLOM RETROFIT DENGAN METODE JAKET
BETON****SKRIPSI****TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

NGAKAN MADE NABIL AKMAL

NIM. 145060101111039

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 17 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D
NIP. 19740619 200012 1 002

Christin Remayanti N., ST., MT
NIP. 19840325 201504 2 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH VARIASI RASIO TULANGAN LONGITUDINAL BAMBU PADA
KOLOM RETROFIT DENGAN MENGGUNAKAN METODE JAKET BETON

Nama Mahasiswa : Ngakan Made Nabil Akmal

NIM : 145060101111039

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI

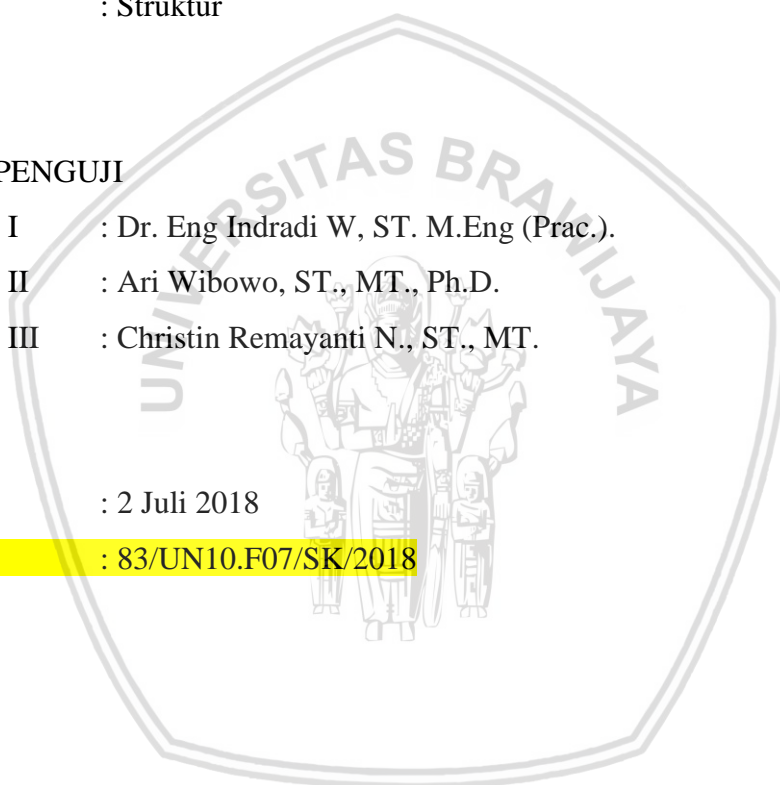
Dosen Penguji I : Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.).

Dosen Penguji II : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D.

Dosen Penguji III : Christin Remayanti N., ST., MT.

Tanggal Ujian : 2 Juli 2018

SK Penguji : 83/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 17 Juli 2018

Mahasiswa,

Ngakan Made Nabil Akmal

NIM. 145060101111039



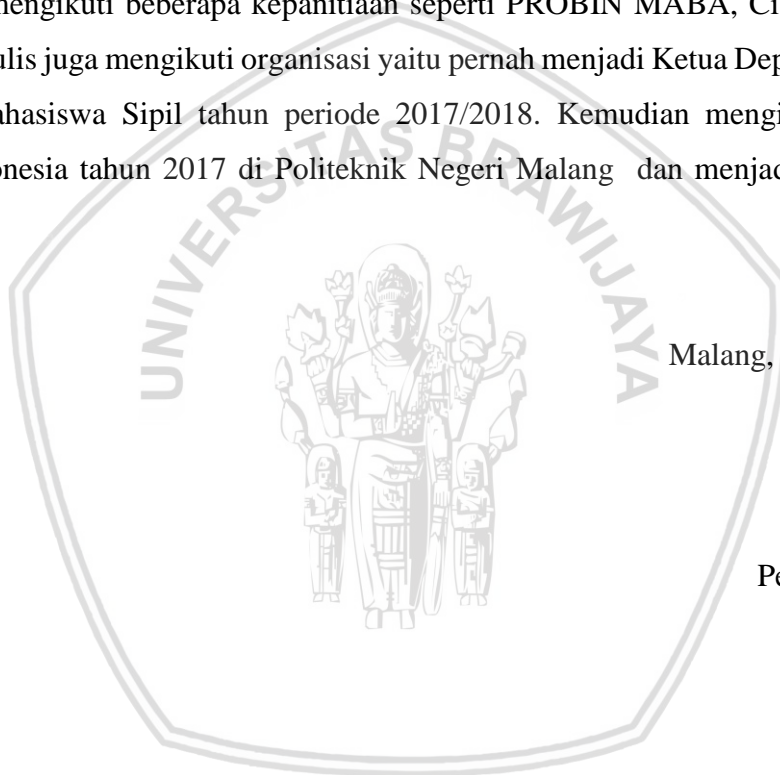
RIWAYAT HIDUP

Ngakan Made Nabil Akmal lahir di Bandung, 12 Januari 1996. Anak dari Bapak Ngakan Nyoman Gunadi dan Ibu Anne Primatian Lulus TK Bunda Asuh Nanda tahun 2002. Kemudian lulus SD di SD BPI tahun 2008. Setelah itu lulus SMP di SMPN 2 Bandung tahun 2011. Selanjutnya lulus SMA di SMAN 20 Bandung tahun 2014. Kemudian melanjutkan studi di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan lulus tahun 2018.

Selama menjalani studi di Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang penulis aktif mengikuti beberapa kepanitiaan seperti PROBIN MABA, Civil Camp, Civil Fiesta dll. Penulis juga mengikuti organisasi yaitu pernah menjadi Ketua Departemen Amara Himpunan Mahasiswa Sipil tahun periode 2017/2018. Kemudian mengikuti Kompetisi Jembatan Indonesia tahun 2017 di Politeknik Negeri Malang dan menjadi asisten tugas besar statika.

Malang, 17 Juli 2018

Penulis





*Kebahagiaan Awal yang Saya Persembahkan untuk
Ayah dan Ibu yang Saya Cintai*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul **“PENGARUH VARIASI RASIO TULANGAN LONGITUDINAL BAMBU PADA KOLOM RETRFOIT DENGAN METODE JAKET BETON”** dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar **Sarjana Teknik** di **Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**.

Skripsi ini dapat diselesaikan berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah S
2. **Kedua orang tua, kakak dan adik saya** yang selalu mendoakan yang terbaik dan memberikan semangat kepada saya dalam menyelesaikan skripsi.
3. Bapak **Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo., ST., MT.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
4. Bapak **Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D** selaku Dosen Pembimbing I.
5. Ibu **Christin Remayanti N., ST., MT.**, selaku Dosen Pembimbing II..
6. Bapak **Dr. Eng Indradi W., ST, M.Eng (Prac)** yang juga membantu dan memberikan saran kepada saya dalam menyusun skripsi ini.
7. **Dr. Ir. Wisnumurti., MT.**, selaku KKDK Struktur
8. Bapak **Dr. Eng. Achfaz Zacob, ST., MT.**, selaku Dosen Penasehat Akademik.
9. **Syifa Dhenira** yang sudah menjadi pendukung nomer satu saya selama masa perkuliahan sampai penelitian ini selesai.
10. **Hampos** yang terdiri dari Miftah, Izzul, Noorza, Abizar, Maulana dan Abas.
11. **Para Pencari Anjay** yang terdiri dari Sastria Wresniwira dan Ryan Radya Dessanda.
12. **Xenia Aman** yang terdiri dari Argi, Ferdy, Diar, Aldi, Fabio, Ghilman, Ghafi dan Ianda.
13. **Calon Mantu Kopong** yang terdiri dari, Aldi, Argi, Aldi, Dhede, Ghafi, Ianda, Irshadi, Khalid, Fikran, Putra, Mufthi dan Gatot.
14. **Amera 2014** yang terdiri dari Isnana, Nur Rachman, Sonnia, Faishal, Aditya, Alifinia, Naadiyah, Candra, Besar Wira, Dicky dan Halida.
15. **Departemen Amara dan Himpunan Mahasiswa Sipil** yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu.

16. **Tim Skripchill** yang terdiri dari Nur Rachman, Faishal P, Arya Bagus, Alif Farrasi dan Novita.

17. **Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya**, khususnya teman-teman Teknik Sipil 2014 yang memberikan dukungan dan semangat selama penelitian ini berlangsung Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Juli 2018

Ngakan Made Nabil Akmal



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xv
RINGKASAN.....	xvii
SUMMARY	xix
DAFTAR SIMBOL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Tujuan	3
1.6 Manfaat.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton Bertulang	5
2.1.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton Bertulang	5
2.1.2 Tegangan dan Regangan Pada Beton Bertulang	6
2.1.3 Perilaku Tegangan – Regangan Beton Terkekang	7
2.2 Tulangan Longitudinal	9
2.2.1 Fungsi Tulangan Longitudinal	10
2.3 Tulangan Transversal (Senggang)	10
2.4 Bambu	10
2.4.1 Bambu Petung	11

2.4.2 Bambu Apus	11
2.4.3 Kuat Tarik dan Tekan Bambu	11
2.4.5 Perlakuan Bambu Sebagai Tulangan.....	12
2.5 Kolom	12
2.5.1 Kolom Pendek Dengan Beban Aksial.....	14
2.6 Modulus Elastisitas	15
2.7 Kekakuan	15
2.8 Daktilitas	17
2.9 Perkuatan Kolom dengan Metode <i>Concrete Jacketing</i>	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.2 Bahan Penelitian.....	19
3.2.1 <i>Pozzolan Portland Cement</i>	19
3.2.2 Tulangan Baja	19
3.2.3 Tulangan Bambu	19
3.2.4 Agregat	20
3.2.5 Air	20
3.2.6 Bahan Perekat Beton	20
3.2.6 Bahan Perbaikan Beton	20
3.3 Peralatan Penelitian	20
3.3.1 Saringan.....	20
3.3.2 Timbangan.....	20
3.3.3 Mesin Pengaduk Beton.....	21
3.3.4 Cetakan Benda Uji	21
3.3.5 Alat Uji Tekan.....	21
3.3.5 Alat Uji Tarik	21
3.3.6 <i>Dial Gauge Digital</i>	21

3.3.7 Alat Bantu Lainnya.....	21
3.4 Tahapan Penelitian	22
3.5 Rancangan Penelitian	23
3.6 Variable Penelitian	30
3.7 Prosedur Penelitian	30
3.7.1 Pengujian Bahan Dasar.....	30
3.7.2 Pembuatan Benda Uji	30
3.7.3 Perawatan Benda Uji	31
3.7.4 Pengujian Kuat Tekan	31
3.7.5 Pengujian Kuat Tarik.....	32
3.8 Metode Analisis.....	33
3.8.1 Pengumpulan Data.....	33
3.8.2 Pengolahan Data	34
3.9 Hipotesis Penelitian	41
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Analisa Bahan.....	43
4.1.1 Agregat Halus	43
4.1.2 Agregat Kasar	43
4.1.3 Baja Tulangan.....	43
4.1.4 Air	44
4.2 Campuran Beton	44
4.3 Pengujian Beton Segar.....	44
4.4 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder	45
4.5 Pengujian Kuat Beban Aksial Kolom.....	48
4.6 Pembahasan	54
4.6.1 Pembahasan Mengenai Perbandingan Gaya Tekan dan Defleksi Kolom Asli dengan Kolom Retrofit	54

4.6.1.1 Kolom Asli A.1 dengan Kolom Retrofit A.1	57
4.6.1.2 Kolom Asli B.1 dengan Kolom Retrofit B.1	60
4.6.1.3 Kolom Asli C.1 dengan Kolom Retrofit C.1	62
4.6.1.4 Kolom Asli D.1 dengan Kolom Retrofit D.1	65
4.6.2 Pembahasan Mengenai Modulus Elastisitas Kolom Asli dengan Kolom Retrofit	67
4.6.2.1 Kolom Asli A.1 dengan Kolom Retrofit A.1	70
4.6.2.2 Kolom Asli B.1 dengan Kolom Retrofit B.1	73
4.6.2.3 Kolom Asli C.1 dengan Kolom Retrofit C.1	75
4.6.2.4 Kolom Asli D.1 dengan Kolom Retrofit D.1	78
4.6.3 Pembahasan Mengenai Daktilitas Kolom Asli dengan Kolom Retrofit	80
4.7 Analisis Efektifitas Kolom Retrofit.....	85
4.7.1 Analisis Efektifitas Kolom Retrofit A1 dengan Kolom Retrofit C.1	85
4.7.2 Analisis Efektifitas Kolom Retrofit B1 dengan Kolom Retrofit D.1	87
BAB 5 PENUTUP.....	91
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN	95

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Penelitian kolom retrofit dengan variasi tulangan bambu dan jarak sengkang yang berbeda.....	23
Tabel 3.2	Jumlah benda uji	24
Tabel 3.3	Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan beton silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit.	33
Tabel 3.4	Form pengumpulan data dari pengujian kuat beban aksial kolom asli dan kolom retrofit	34
Tabel 3.5	Form pengumpulan data dari pengujian uji tarik tulangan baja Ø6 mm dan Ø10 mm	34
Tabel 3.6	Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	35
Tabel 3.7	Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit	35
Tabel 3.8	Tabel pengolahan data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	36
Tabel 3.9	Tabel pengolahan data tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit	36
Tabel 3.10	Tabel pengolahan data daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit	36
Tabel 4.1	Uji Tulangan Baja	44
Tabel 4.2	Tabel Hasil Uji Slump Beton Benda Uji Silinder (Sampel Benda Uji Kolom Asli)	45
Tabel 4.3	Tabel Hasil Uji Slump Beton Benda Uji Silinder (Sampel Benda Uji Kolom Retrofit)	45

Tabel 4.4	Hasil uji kuat tekan beton benda uji silinder (sampel benda uji kolom asli)	46
Tabel 4.5	Hasil uji kuat tekan beton benda uji silinder (sampel benda uji kolom retrofit)	46
Tabel 4.6	Tabel hasil kuat beban aksial kolom asli	49
Tabel 4.7	Tabel hasil rata-rata kuat beban aksial kolom asli	49
Tabel 4.8	Tabel hasil kuat beban aksial kolom retrofit	50
Tabel 4.9	Tabel hasil rata-rata kuat beban aksial kolom retrofit	51
Tabel 4.10	Tabel data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	55
Tabel 4.11	Tabel data rata –rata gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	55
Tabel 4.12	Tabel data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	68
Tabel 4.13	Tabel data rata –rata tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	68
Tabel 4.14	Tabel daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit	81
Tabel 4.15	Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit A.1 dengan kolom retrofit C.1	86
Tabel 4.16	Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit B.1 dengan kolom retrofit D.1	88

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Hubungan tegangan-regangan beton terkekang dan beton tidak Terkekang	8
Gambar 2.2	Pengekangan dengan tulangan sengkang dan tulangan longitudinal	13
Gambar 2.3	Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial	16
Gambar 2.4	Beberapa alternatif pengambilan lendutan pada titik leleh.	17
Gambar 2.5	Tampak atas kolom dengan perkuatan <i>concrete jacketing</i>	18
Gambar 3.1	Diagram alir tahapan penelitian	22
Gambar 3.2	Benda uji kolom asli.....	25
Gambar 3.3	Benda uji kolom retrofit kode A1	26
Gambar 3.4	Benda uji kolom retrofit kode C1.....	27
Gambar 3.5	Benda uji kolom retrofit kode B1.....	28
Gambar 3.6	Benda uji kolom retrofit kode D1	29
Gambar 3.7	Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom retrofit	37
Gambar 3.8	Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli dengan retrofit	37
Gambar 3.9	Grafik hubungan gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit	38
Gambar 3.10	Grafik tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit.....	38
Gambar 3.11	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit	39
Gambar 3.12	Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dan kolom	

retrofit	39
Gambar 3.13 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit	40
Gambar 3.14 Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dengan kolom retrofit	40
Gambar 4.1 Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom retrofit	48
Gambar 4.2 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli A1 dengan kolom retrofit A1	52
Gambar 4.3 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli B1 dengan kolom retrofit B1.....	52
Gambar 4.4 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli C1 dengan kolom retrofit C1.....	53
Gambar 4.6 Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli D1 dengan kolom retrofit D1	53
Gambar 4.6 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1.1 dengan kolom retrofit A.1.1	57
Gambar 4.7 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1.2 dengan kolom retrofit A.1.2	57
Gambar 4.8 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1.3 dengan kolom retrofit A.1.3	58
Gambar 4.9 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1 dengan kolom retrofit A.1	58
Gambar 4.10 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1.1 dengan kolom retrofit B.1.1.....	60
Gambar 4.11 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1.2 dengan kolom retrofit B.1.2.....	60

Gambar 4.12 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1.3 dengan kolom retrofit B.1.3.....	61
Gambar 4.13 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1.....	61
Gambar 4.14 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.1 dengan kolom retrofit C.1.1.....	62
Gambar 4.15 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.2 dengan kolom retrofit C.1.2.....	63
Gambar 4.16 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.3 dengan kolom retrofit C.1.3.....	63
Gambar 4.17 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1.....	64
Gambar 4.18 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.1 dengan kolom retrofit D.1.1	65
Gambar 4.19 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.2 dengan kolom retrofit D.1.2	65
Gambar 4.20 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.3 dengan kolom retrofit D.1.3	66
Gambar 4.21 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1	66
Gambar 4.22 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1.1 dengan kolom retrofit A.1.1	70
Gambar 4.23 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1.2 dengan kolom retrofit A.1.2	70
Gambar 4.24 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1.3 dengan kolom retrofit A.1.3	71

Gambar 4.25	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1 dengan kolom retrofit A.1	71
Gambar 4.26	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1.1 dengan kolom retrofit B.1.1	73
Gambar 4.27	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1.2 dengan kolom retrofit B.1.2	73
Gambar 4.28	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1.3 dengan kolom retrofit B.1.3	74
Gambar 4.29	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1	74
Gambar 4.30	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.1 dengan kolom retrofit C.1.1	75
Gambar 4.31	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.2 dengan kolom retrofit C.1.2	76
Gambar 4.32	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.3 dengan kolom retrofit C.1.3	76
Gambar 4.33	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1	77
Gambar 4.34	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.1 dengan kolom retrofit D.1.1	78
Gambar 4.35	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.2 dengan kolom retrofit D.1.2	78
Gambar 4.36	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.3 dengan kolom retrofit D.1.3	79
Gambar 4.37	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1	79
Gambar 4.38	Grafik perbandingan daktilitas kolom asli A.1 dengan kolom	

retrofit A.1	82
Gambar 4.39 Grafik perbandingan daktilitas kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1	83
Gambar 4.40 Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1	84
Gambar 4.41 Grafik perbandingan daktilitas kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1	85
Gambar 4.42 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit A.1-C.1.....	86
Gambar 4.43 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit A.1-C.1	87
Gambar 4.44 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit B.1-D.1.....	88
Gambar 4.45 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit B.1-D1	89





RINGKASAN

Ngakan Made Nabil Akmal, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh Variasi Rasio Tulangan Longitudinal Bambu pada Kolom Retrofit dengan Metode Jaket Beton*, Dosen Pembimbing : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dan Christin Remayanti N., ST., MT.

Pada suatu struktur konstruksi bangunan, kolom merupakan salah satu dari beberapa elemen penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan pengerjaannya. Apabila suatu kolom tidak diperhatikan saat perencanaan maupun pengerjaan maka kolom berpotensi untuk mengalami kegagalan. Kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada kolom diakibatkan dari beberapa hal, yaitu kebakaran, gempa bumi dan pembebanan yang berlebih pada kolom. Untuk mengatasi kerusakan pada sruktur kolom, salah satu caranya ialah menggunakan metode jaket beton.

Pada penelitian kali ini, kolom asli yang diretrofit akan dipasang tulangan dan sengkang yang bermaterialkan dari bambu. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung untuk sengkang dan bambu apus untuk tulangan longitudinal. Ada 4 jenis kolom yang akan diteliti kali ini, yaitu kolom retrofit dengan kode A1 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dengan rasio tulangan sebesar 1,23, kolom retrofit B1 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 0,5 mm dengan rasio tulangan sebesar 1,23, kolom retrofit C1 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 20 mm dengan rasio tulangan sebesar 2,47 dan kolom retrofit D1 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dengan rasio tulangan sebesar 2,47. Penelitian kali ini untuk membandingkan efektifitas pada pemasangan tulangan dengan rasio tulangan yang berbeda pada kolom retrofit A1 dan C1 dan juga pada kolom retrofit B1 dan D1. Kolom retrofit akan diuji menggunakan compression test machine dan dipasang dial gauge untuk membantu membaca defleksi pada kolom saat diuji.

Hasil penelitian ini didapatkan bahwa kolom retrofit C1 dengan rasio tulangan 2,47 memiliki nilai kuat tekan 3,05% lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit A1 dengan rasio tulangan 1,23. Untuk nilai kekakuan dan modulus elastisitas, kolom retrofit C1 memiliki nilai 2,22% lebih besar dibandingkan kolom retrofit A1. Pada perbaikan kolom asli, kolom retrofit C1 memiliki nilai peningkatan daktilitas yang lebih besar yakni 25,73% dibandingkan dengan kolom retrofit A1 yang hanya memiliki peningkatan sebesar 13,61%. Hasil kedua tipe kolom diatas menunjukkan bahwa kolom retrofit C1 yang memiliki rasio tulangan yang lebih besar tidak memberikan efek yang signifikan untuk menambah nilai kekakuan, modulus elastisitas dan peningkatan daktilitas. Kemudian untuk penelitian kolom retrofit D1 dengan rasio tulangan 2,47 memiliki nilai kuat tekan 7,11% lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit B1 dengan rasio tulangan 1,23. Untuk nilai kekakuan dan modulus elastisitas, kolom retrofit B1 memiliki nilai 22,63% lebih besar dibandingkan kolom retrofit D1. Pada perbaikan kolom asli, kolom retrofit D1 memiliki nilai peningkatan daktilitas yang lebih besar yakni 61,14% dibandingkan dengan kolom retrofit B1 yang malah mengalami penurunan daktilitas sebesar -6,63% dari kolom asli. Hasil kedua tipe kolom diatas menunjukkan bahwa kolom retrofit D1 yang memiliki rasio tulangan yang lebih besar tidak memberikan efek yang signifikan untuk menambah nilai kekakuan, modulus elastisitas dan peningkatan daktilitas

. Kata Kunci : Jaket beton, efektifitas, kuat tekam , kekakuan, modulus elastisitas, daktilitas.

SUMMARY

Ngakan Made Nabil Akmal, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, June 2018, *Effect of Longitudinal Bamboo Reinforcement Ratio on RC Columns Retrofitted Using Concrete Jacket Method*, Supervisor: Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D and Christin Remayanti N ., ST., MT.

In a structure of building construction, the column is one of several important elements that need to be considered in the planning and processing. If a column is not considered during planning or processing, the column has the potential to fail. Failure or damage to the column is caused by several things, due to fire, earthquake and overloading of the column. To overcome the damage to the column structure, one way is to use concrete jacketing method.

In the present study, the original column will be retrofit with reinforcement and stirrup which is materialized from bamboo. The type of bamboo used is bamboo petung for stirrup and bamboo apus for longitudinal reinforcement. There are 4 types of columns to be studied this time, the retrofit column with the code A1 which fitted with bamboo reinforcement 4 pieces with size 10 x 10 mm with a reinforcement ratio by 1,23, retrofit B1 column fitted with bamboo reinforcement of 8 pieces with size 10 x 0,5 mm with a reinforcement ratio by 1,23, C1 retrofit columns fitted with bamboo reinforcement of 4 pieces with a size of 10 x 20 mm with a reinforcement ratio by 2,47 and retrofit column D1 which fitted with bamboo reinforcement 8 pieces with size 10 x 10 mm with a reinforcement ratio by 2,47. The study was to compare the effectiveness of the reinforcement with different reinforcement ratios in the retrofit columns A1 and C1 and also on the retrofit columns B1 and D1. The retrofit column will be tested using a compression test machine and installed a dial gauge to help read the deflection on the column when tested.

The results of this study found that the retrofit column C1 with a reinforcement ratio 2,47 has a compressive strength value by 3,05% higher than the retrofit column A1 with a reinforcement ratio by 1,23. For stiffness and elasticity modulus values, the C1 retrofit column has a value by 2,22% higher than the retrofit column A1. In the original column improvement, the retrofit A1 column has a higher increased ductility value by 32,89% compared to the C1 retrofit column which only increased by 25,99%. The results of both types of columns above show that C1 retrofit column which having larger reinforcement ratios do not have a significant effect to increase the stiffness value, elastic modulus and ductility increase. Then for research of retrofit column D1 with reinforcement ratio by 2,47 have value of compressive strength by 7,11% bigger than retrofit column B1 with reinforcement ratio by 1,23. For stiffness and elasticity modulus values, the retrofit B1 column has a value by 22.63% higher than the retrofit column D1. On the improvement of the original column, the retrofit column D1 has a higher increased ductility value by 95,89% compared to the retrofit column B1 which actually decreased the ductility by -4,66% from the original column. The results of both types of columns above show that retrofit columns D1 which having larger reinforcement ratios have no significant effect to increase stiffness value, elastic modulus and increased ductility

. Keywords: Concrete jacket, effective, compressive strength, stiffness, modulus of elasticity, ductility

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kolom merupakan salah satu bagian yang paling penting didalam struktur sebuah bangunan. Apabila suatu struktur bangunan mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi, kebakaran ataupun pembebanan berlebih (*overloading*) maka kolom merupakan bagian struktur yang perlu diperhatikan. Saat ini, seiring berkembangnya jaman dan teknologi metode perbaikan ataupun perkuatan struktur pada bangunan, seperti contoh jaket beton (*concrete jacketing*), *steel bonding plat*, *carbon fibre* dan sebagainya sehingga kerusakan suatu struktur pada bangunan bisa teratasi.

Penelitian kali ini akan memperkuat struktur kolom yang sudah rusak dengan menggunakan metode jaket beton (*concrete jacketing*). Alasan penelitian ini menggunakan metode ini dikarenakan metode jaket beton sangat mudah dilaksanakan serta efisien dalam sisi waktu dan biaya sehingga kolom yang sudah rusak bisa dengan cepat untuk kembali berfungsi seperti sedia kala.

Metode jaket beton atau yang biasa lebih dikenal dengan *concrete jacketing* adalah metode perkuatan atau beton dengan cara menyelimuti beton yang sudah ada dengan beton tambahan sehingga dimensi kolom sebelumnya akan bertambah menjadi lebih besar. Pada kolom sebelum diperkuat oleh jaket beton, kolom terdiri dari beton dan tulangan.

Dalam struktur kolom, rasio tulangan mempunyai peranan yang sangat penting dalam kekuatan sebuah kolom. Semakin besar rasio tulangan yang digunakan, maka kekuatan sebuah kolom akan semakin kuat. Namun sebaliknya semakin kecil rasio tulangan semakin besar kemungkinan kolom untuk mengalami keruntuhan.

Penelitian kali ini akan mengamati pengaruh variasi rasio tulangan pada keruntuhan sebuah kolom setelah diperkuat dengan menggunakan metode jaket beton (*concrete jacketing*) dengan menggunakan bahan bambu petung sebagai tulangan longitudinal dan bambu apus sebagai sengkang. Penelitian ini menggunakan bambu petung dan bambu apus karena kedua jenis bambu tersebut mempunyai kuat tarik sejajar serat sebesar 100-400 Mpa yang dimana kekutan tersebut lebih besar dibandingkan kuat tarik baja dengan mutu sedang. Selain itu bambu petung dan bambu apus juga relatif lebih murah dibandingkan tulangan baja. Kedua alasan diataslah yang diharapkan pada penelitian ini mampu menciptakan

inovasi terbaru dalam perbaikan kolom dengan menggunakan metode concrete jacketing dengan menggunakan tulangan bambu.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas yang lebih efektif dari kolom retrofit dengan metode *concrete jacketing*. Parameter yang digunakan untuk mengetahui hal tersebut pada penelitian ini adalah variasi rasio tulangan longitudinal bambu pada kolom retrofit.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang sudah disampaikan diatas maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan rumusan masalahnya adalah:

1. Bagaimanakah kuat tekan maksimum kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan bambu pada kolom retrofit?
2. Bagaimanakah hasil kekakuan dan modulus elastisitas pada kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan longitudinal bambu?
3. Bagaimanakah hasil daktilitas pada kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan longitudinal bambu
4. Berapakah variasi rasio tulangan bambu longitudinal yang paling efektif pada kolom retrofit?

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak terlalu melebar maka perlu ditambah batasan pada penelitian ini, diantaranya sebagai berikut:

1. Mutu beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah 15 Mpa.
2. Kolom asli mempunyai dimensi 12 cm x 12 cm x 30 cm.
3. Kolom retrofit mempunyai dimensi 18 cm x 18 cm x 30 cm.
4. Material yang digunakan pada tulangan longitudinal dan transversal pada kolom asli adalah tulangan baja.
5. Material yang digunakan pada tulangan longitudinal dan transversal pada kolom retrofit adalah tulangan bambu.
6. Jenis bambu yang digunakan sebagai tulangan longitudinal pada kolom retrofit adalah jenis bambu petung.
7. Jenis bambu yang digunakan sebagai tulangan transversal pada kolom retrofit adalah jenis bambu apus.

8. Kolom asli dipasang 4 buah tulangan longitudinal D-10 mm dan tulangan transversal \emptyset 6 mm dengan pemasangan jarak antar tulangan transversal 15 cm.
9. Terdapat 3 jenis variasi dimensi tulangan longitudinal bambu pada kolom retrofit, yaitu dimensi tulangan longitudinal bambu 1 cm x 1 cm, 1 cm x 2 cm dan 1 cm x 0,5 cm.
10. Kolom retrofit yang memiliki dimensi tulangan longitudinal bambu 1 cm x 1 cm dipasang sebanyak 4 buah tulangan longitudinal bambu.
11. Kolom retrofit yang memiliki dimensi tulangan longitudinal bambu 1 cm x 2 cm dipasang sebanyak 4 buah tulangan longitudinal bambu.
12. Kolom retrofit yang memiliki dimensi tulangan longitudinal bambu 1 cm x 0,5 cm dipasang sebanyak 8 buah tulangan longitudinal bambu.
13. Kolom retrofit yang memiliki dimensi tulangan longitudinal bambu 1 cm x 1 cm dipasang sebanyak 8 buah tulangan longitudinal bambu.
14. Tulangan transversal bambu pada kolom retrofit memiliki dimensi 0,5 cm x 0,5 cm.
15. Jarak pemasangan jarak tulangan transversal bambu pada kolom retrofit, yaitu 5 cm.
16. Variasi yang akan dibandingkan dalam penelitian ini adalah dimensi dan jumlah tulangan.
17. Karakteristik pengujian kekuatan kolom retrofit yang akan diamati dalam penelitian ini adalah pengujian kuat tekan kolom.

1.5 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis kuat tekan maksimum kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang berbeda.
2. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis hasil nilai kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang berbeda.
3. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis hasil nilai daktilitas kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang berbeda.
4. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang paling efektif pada kolom retrofit.

1.6 Manfaat

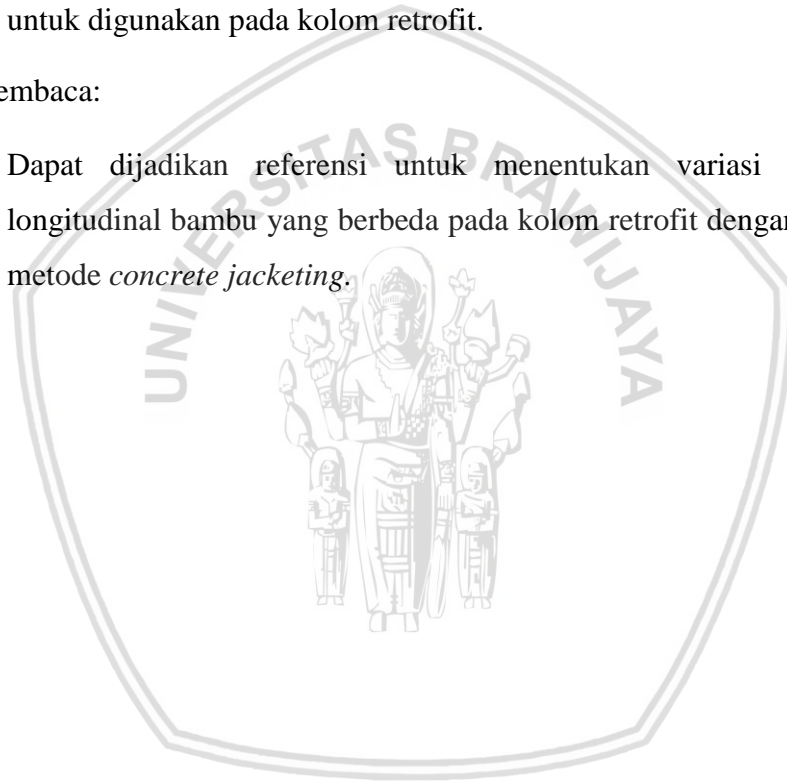
Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Bagi penulis:

- Mengetahui kuat tekan maksimum pada kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang berbeda.
- Mengetahui kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang berbeda.
- Mengetahui variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang paling efektif untuk digunakan pada kolom retrofit.

2. Bagi pembaca:

- Dapat dijadikan referensi untuk menentukan variasi rasio tulangan longitudinal bambu yang berbeda pada kolom retrofit dengan menggunakan metode *concrete jacketing*.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang

Beton merupakan campuran dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan beban tambah (*admixture* atau *additive*). (Mulyono, 2004). Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah: a). Kualitas semen, b). Proporsi semen terhadap campuran c). Kekuatan dan kebersihan agregat, d). Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat, e). Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton, f). Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton, g). Perawatan beton dan h). Kandungan klorida tidak melebihi 0.15% dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak di ekspos (Nawy, 1985:24). Pada struktur beton biasanya terdapat tulangan yang berfungsi sebagai penahan gaya tarik. Beton yang kuat terhadap gaya tekan dan lemah terhadap tarik maka diperlukan tulangan untuk menahan gaya tarik yang disebabkan beban yang bekerja.

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan tertentu untuk mendapatkan suatu penampang yang berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Standar peraturan perencanaan bangunan beton bertulang di Indonesia mengacu pada SNI 2847:2013.

Beton bertulang merupakan bahan konstruksi yang paling umum digunakan. Sistem struktur yang dibangun dengan beton bertulang, seperti bangunan gedung, jembatan, dinding penahan tanah, terowongan, tangki, saluran air dan lainnya, dirancang dari prinsip dasar desain dan penelitian elemen beton bertulang yang menerima gaya aksial, momen lentur, gaya geser, momen puntir, atau kombinasi dari jenis gaya-gaya dalam tersebut.

2.1.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton Bertulang

Beberapa kelebihan pada beton antara lain:

- a) Beton bertulang memiliki kuat tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan material lainnya.
- b) Struktur beton bertulang sangat kokoh.
- c) Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap cuaca ekstrim.
- d) Beton memiliki usia layan yar

- e) Beton bertulang tidak terlalu memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi dibandingkan dengan material yang lainnya.
- f) Beton dapat dicetak menjadi bentuk yang beragam mulai dari pelat, balok dan kolom yang sederhana sampai atap kubah dan cangkang besar.
- g) Keahlian buruh yang dibutuhkan untuk membangun konstruksi beton bertulang lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan lain seperti struktur baja.

Selain memiliki beberapa kelebihan yang sudah disebutkan diatas, beton bertulang juga memiliki beberapa kelemahan. Kelemahan beton bertulang antara lain:

- a) Beton bertulang mempunyai kekuatan tarik yang sangat rendah (sekitar 10% dari kekuatan tekan) sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik.
- b) Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton sampai beton mengeras. Biaya yang dibutuhkan untuk pembuatan bekisting sangat mahal, sehingga ini merupakan salah satu kelemahan dalam penggunaan beton bertulang.
- c) Rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat. Kekuatan beton berkisar antara 5% hingga 10% kekuatan baja meskipun berat jenisnya kira-kira 30% dari berat baja. Ini akan sangat berpengaruh pada struktur-struktur bentang panjang dimana berat beban mati beton yang besar akan sangat mempengaruhi momen lentur.
- d) Sifat-sifat beton sangat bervariasi karena bervariasinya proporsi campuran dan pengadukannya. Selain itu, penuangan dan perawatan beton tidak bisa ditangani seteliti seperti yang dilakukan pada proses produksi material lain seperti struktur baja dan kayu.

2.1.2 Tegangan dan Regangan pada Beton Bertulang

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya (P) atau reaksi dalam yang timbul per satuan luas (A). Rumus untuk mencari tegangan pada beton bertulang yakni :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

P = gaya tekan (kN)

A = luas tampang melintang (mm²)

Deformasi atau regangan yaitu perubahan ukuran dari panjang awal suatu benda yang disebabkan oleh gaya tarik atau gaya. Rumus untuk mencari regangan pada beton bertulang yakni :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana $\Delta L = l - l_0$

Dimana :

ΔL = perubahan panjang akibat beban P (mm)

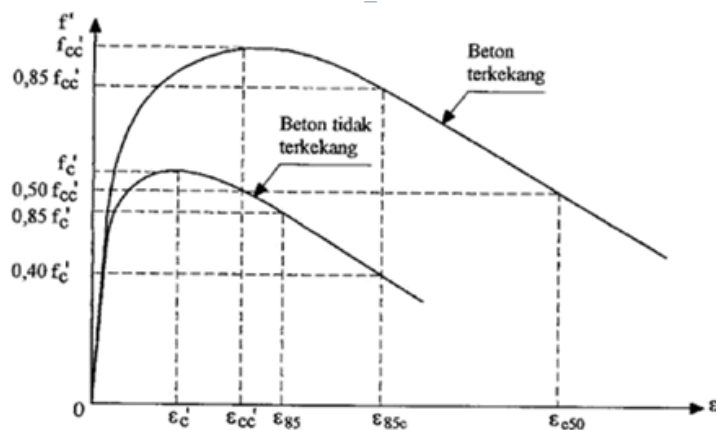
L = panjang semula (mm)

2.1.3 Perilaku Tegangan – Regangan Beton Terkekang

Pada kolom beton bertulang, tulangan transversal akan mempengaruhi hubungan antara tegangan-regangan yang dimana dipengaruhi dari beberapa variabel, yaitu kuat tekan beton, rasio tulangan terhadap volume inti, tegangan leleh tulangan lateral dan spasi tulangan lateral. Selain itu tidak kalah pentingnya adalah pengaruh dari tingkat laju pembebanan, karena karakteristik tegangan – regangan beton pada dasarnya memiliki unsur *time – dependent*

Tulangan transversal atau sengkang yang dipasang pada kolom berfungsi untuk memperlambat laju pengembangan transversal pada kolom beton. Apabila dibandingkan dengan kolom tanpa tulangan transversal, kolom dengan tulangan transversal memiliki nilai kekakuan dan daktilitas yang lebih besar. Tulangan transversal memiliki peranan yang sangat penting dalam menahan mengekang pengembangan lateral yang disebabkan oleh beban tekan aksial sehingga tulangan longitudinal atau tulangan utama pada struktur kolom dapat terhindar dari buckling dan mencegah keruntuhan geser pada kolom. Semakin besar nilai beban aksial yang diterima oleh suatu kolom, maka semakin banyak pula sengkang yang diperlukan supaya struktur menjadi lebih daktil dan kuat.

Gambar 2.1 memperlihatkan bahwa pada tegangan awal, modulus elastisitas beton terkekang dengan beton tidak terkekang hampir sama. Berarti pada tegangan awal tersebut, tulangan transversal belum aktif memberikan tahanan lateral. Deformasi lateral yang disebabkan oleh beban aksial yang bekerja pada beton, mendapatkan tahanan dari ikatan antara partikel beton.



Gambar 2.1. Hubungan tegangan-regangan beton terkekang dan beton tidak terkekang

Sumber : Razvi & Saatcioglu (1999)

Pada tegangan sekitar $0,4 f'_c$, perilaku kurva tegangan – regangan beton mulai non – linier. Pada tegangan ini dimulai dengan tanda-tanda runtuhnya selimut beton dan perilaku tegangan-regangan yang berbeda. Deformasi lateral beton menimbulkan reaksi dari kekangan berupa tahanan lateral. Hal tersebut dapat mempengaruhi dengan meningkatnya nilai kekuatan dan daktilitas beton yang terkekang..

Grafik diatas juga menunjukkan bahwasannya beton yang terkekang setelah titik puncak memiliki penurunann yang lebih landai, ini berarti daktilitas pada beton yang terkekang lebih daktail. Pola ini disebabkan karena daya dukung pada inti beton sebagian besar diperoleh dari tahanan tulangan lateral, sehingga penurunan tegangan pada beton yang terkekang memiliki pola yang lebih daktail.

Tegangan puncak dari beton terkekang terlihat terjadi pada regangan yang lebih besar dibandingkan dengan beton tidak terkekang. Setelah tegangan pada regangan puncak, pada beton tidak terkekang mulai terjadi penurunan tegangan.

Sebaliknya pada regangan yang sama pada beton terkekang, dengan bertambahnya deformasi aksial terjadi peningkatan kekuatan, yang tergantung dari besarnya tegangan lateral, sampai mencapai tegangan puncak. Kekangan pada beton juga meningkatkan sisa kekuatan setelah runtuh (*residu strength*).

2.2 Tulangan Longitudinal

Tulangan longitudinal biasanya terbuat dari material baja. Namun baja memiliki kelemahan karena baja merupakan material yang cepat habis dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu penelitian ini juga dimaksudkan untuk membuktikan bahwasannya tulangan yang terbuat dari material bambu dapat menggantikan baja. Perbedaan antara tulangan bambu dan baja adalah:

- Tulangan baja

Tulangan baja merupakan tulangan yang paling sering digunakan oleh banyak orang. Hal ini dikarenakan tulangan baja tidak mudah terbakar dan tidak mudah menyerap air. Tulangan baja yang tersedia di pasaran dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Baja Tulangan Polos (BJTP)

Tulangan Polos biasanya digunakan untuk tulangan geser/begel/senggang, dan mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal sebesar 240 Mpa dengan ukuran $\varnothing 6$, $\varnothing 8$, $\varnothing 10$, $\varnothing 12$, $\varnothing 14$ dan $\varnothing 16$.

2. Baja Tulangan Ulir atau Deform (BJTD)

Tulangan Ulir/deform digunakan untuk tulangan longitudinal atau tulangan memanjang, dan mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal 300 MPa. Ukuran diameter nominal tulangan ulir yang umumnya tersedia di pasaran adalah D10, D13, D16, D19, D22, D25, D29, D32, dan D36.

- Tulangan Bambu

Bambu mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi, yakni kuat tarik antara 100-400 Mpa, hampir menyamai kekuatan tarik besi tulangan setara dengan $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{1}{4}$ dari tegangan ultimit besi (Widjaja, 2001 dalam Budi, 2013)). Kuat tarik bambu dapat mencapai 1280 kg/cm² (Morisco, 1996). Kekuatan tarik bambu sejajar serat antara 100-400 Mpa beberapa jenis bambu melampaui kuat tarik baja mutu sedang (Morisco, 1999).

Bahan bambu memiliki serat pada bahan yang sejajar, sehingga kekuatan terhadap gaya normal cukup baik, bambu memiliki bentuk seperti pipa sehingga momen lenturnya menjadi cukup tinggi oleh karena itu bambu cukup baik untuk memikul momen lentur dan bambu lebih ringan dibandingkan besi.

Selain itu bambu memiliki beberapa kelebihan sebagai tulangan pada beton, yaitu:

- Tulangan bambu memiliki nilai yang lebih ekonomis dibandingkan baja.
- Bambu dapat diperoleh dengan mudah
- Bambu pertumbuhannya cepat
- Bambu merupakan bahan konstruksi yang ringan
- Bambu dapat diperbaharui

2.2.1 Fungsi Tulangan Longitudinal

Fungsi utama baja tulangan pada struktur beton bertulang yaitu untuk menahan gaya tarik yang bekerja pada struktur. Oleh karena itu pada struktur balok, kolom, pelat, fondasi, ataupun struktur lainnya dari bahan beton bertulang, tulangan longitudinal diupayakan dipasang pada serat beton yang mengalami tarik. Keadaan ini terjadi terutama pada daerah yang menahan momen lentur besar (umumnya terjadi di daerah lapangan/tengah bentang atau di atas tumpuan). Keadaan ini sering mengakibatkan retak pada struktur beton yang dikibatkan oleh tegangan lentur, oleh karena itu tulangan longitudinal dipasang searah sumbu batang.

2.3 Tulangan Transversal (Sengkang)

Tulangan transversal adalah tulangan yang didesain untuk menahan pengembangan retak geser diagonal. Tulangan transversal diikat pada tulangan longitudinal untuk mencegah terjadinya tekuk yang berlebihan dan mengekang beton didalam kolom. Tulangan transversal juga membantu mencegah hancurnya beton pada penampang inti kolom sehingga kolom dapat menahan beban vertikal yang lebih besar.

Berikut ini adalah beberapa fungsi tulangan transversal (sengkang):

1. Sengkang sebagai penahan gaya geser.
2. Sengkang sebagai pengekang (confinement)
3. Sengkang sebagai penahan tekuk (buckling)
4. Sengkang sebagai pengikat tulangan pokok.

2.4 Bambu

Bambu adalah salah satu jenis tanaman yang mudah untuk ditanam dan tumbuh secara alami. Dari ratusan jenis bambu yang ada, hanya ada empat jenis bambu yang dapat dimanfaatkan dan secara umum dipasarkan di Indonesia, yakni bambu jenis petung, bambu jenis wulung, bambu jenis tali dan bambu jenis duri (Frick, 2004 dalam Budi 2013)).

Bambu dipilih sebagai tulangan alternatif sebagai pengganti tulangan baja karena merupakan produk hasil alam yang dapat diperbaharui, murah dan mudah ditanam. Selain itu bambu memiliki kuat tarik yang tinggi bahkan pada beberapa bambu memiliki kekuatan tarik yang lebih besar apabila dibandingkan dengan baja (Wibowo, 2017)

Penggantian tulangan baja dengan tulangan bambu pada struktur kolom akan berpengaruh terhadap perilaku kolom tersebut. Upaya struktur kolom bertulangan bambu bisa efektif, maka diperlukan kombinasi yang tepat antara mutu beton dan tulangannya.

2.4.1 Bambu Petung

Bambu petung (*Dendrocalamus sp*) memiliki beragam nama yakni tiying petung, buluh petung, pring petung, awi petung, buluh swanggi, jajang petung, au petung, bulo lotung. Bambu jenis ini dapat tumbuh di dataran rendah hingga pegunungan dengan ketinggian 2000 m diatas permukaan laut. Pertumbuhannya cukup baik khususnya daerah yang tidak terlalu kering. Warna kulit batang bambu petung pada umumnya warna hijau kekuning kuningan. Tebal dinding bambu petung antara 10 – 20 mm, panjang batang antara 10-14 meter dan panjang ruas antara 40-60 centimeter. (Morisco, 1999:dalam Mustafa, 2010)

2.4.2 Bambu Apus

Bambu apus (*Gigantochloa Apus*) adalah bambu berwarna hijau kelabu yang merumpun dan banyak tumbuh disekitar aliran sungai atau sumber air, batang bersifat sangat lentur dan liat dengan jarak ruas berkisar (20-60) cm, diameter bekisar (40-150) mm, tebal dinding batang lebih kecil 15 mm dan panjang batang berkisar (6-13) m

2.4.3 Kuat Tarik dan Tekan Bambu

Salah satu alasan menggunakan bambu sebagai material pengganti tulangan baja untuk perkuatan kolom adalah kekuatannya yang tinggi. Sifat mekanika bambu sangat dipengaruhi oleh jenis, umur penebangan, kadar air kesetimbangan batang dan bagian batang seperti pangkal, tengah, ujung, ruas atau jarak ruas, sedangkan bagian ruas kurang tahan terhadap beban tekan dan lentur.

Kekuatan tarik bambu untuk menahan gaya-gaya tarik berbeda-beda pada bagian dinding batang dalam atau bagian luar, garis-tengah batang (batang yang langsing memiliki ketahanan terhadap gaya tarik yang lebih tinggi) serta pada bagian batang mana yang digunakan karena bagian kepala memiliki kekuatan terhadap gaya tarik yang 12% lebih

rendah dibandingkan dengan bagian batang kaki. Di Indonesia tegangan tarik yang diizinkan sejajar arah serat adalah $29,4 \text{ N/mm}^2$.

Kekuatan tekan bambu untuk menahan gaya tekan berbeda-beda pada bagian ruas dan bagian diantara ruas batang bambu. Bagian batang tanpa ruas memiliki kekuatan terhadap gaya tekan yang 8-45% lebih tinggi dibandingka batang bambu yang beruas. Di Indonesia tegangan tekan yang diizinkan sejajar arah serta adalah $7,85 \text{ N/mm}^2$.

2.4.4 Perlakuan Bambu Sebagai Tulangan

Penelitian bambu sebagai pengganti tulangan baja pertama kali dilakukan tahun 1979 di Puerto Rico. Bambu akan menyusut empat kali lebih banyak daripada beton sehingga pengikatan antara kedua bahan bangunan menghilang. Penyusutan bambu diakibatkan oleh proses pengeringan. Karena beton saat mengecor mengandung banyak air maka tidak ada gunanya apabila bambu dikeringkan terlebih dahulu.

Permasalahan tersebut bisa diatasi dengan mengecat bilah bambu yang akan digunakan sebagai tulangan dengan menggunakan aspal cair dan ditaburi oleh pasir.

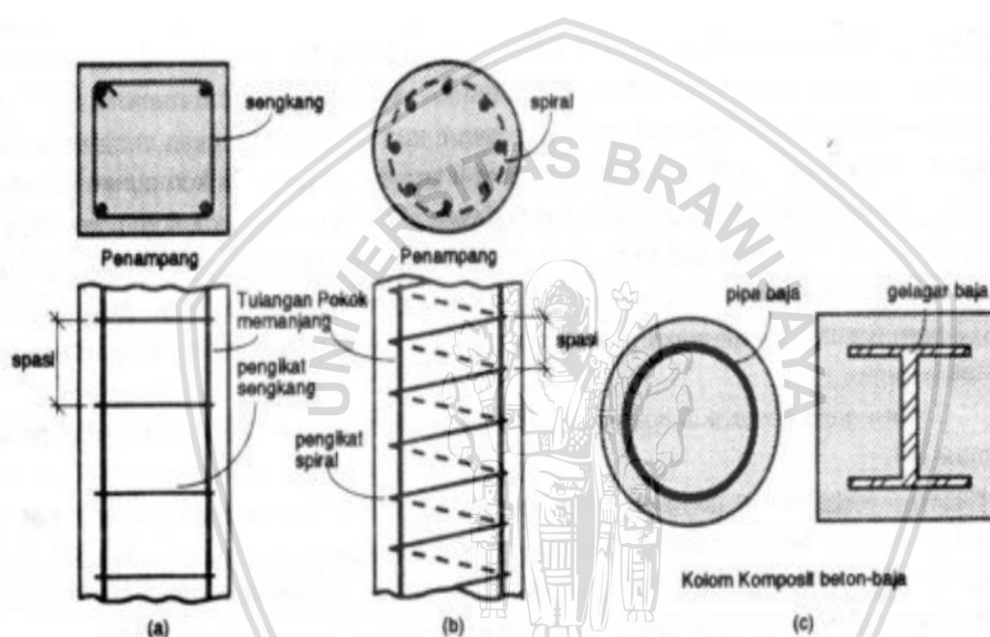
2.5 Kolom

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. (Istimawan, 1994) Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan *collapse* (runtuhnya) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*ultimate total collapse*) seluruh strukturnya. (Nawy, 1985)

Kolom merupakan struktur tekan karena beban yang bekerja adalah aksial tekan sepanjang sumbu bahan. Kolom adalah struktur yang berkaitan dengan kestabilan sebuah bangunan, maka dari itu sebuah kolom harus direncanakan dengan cermat mengenai kekuatan kolom tersebut terhadap beban yang bekerja. Secara garis besar ada tiga jenis varisi kolom beton bertulang seperti dibawah ini:

- 1) Kolom menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang, yang pada jarak spasi tertntu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral, sedemikian rupa sehingga penulangan keseluruhan membentuk kerangka seperti tampak pada gambar 2.2.a.

- 2) Kolom menggunakan pengikat spiral. Bentuknya sama dengan yang pertama hanya saja sebagai pengikat tulangan pokok memanjang adalah tulangan spiral yang dililitkan keliling membentuk heliks menerus di sepanjang kolom seperti gambar 2.2.b.
- 3) Struktur kolom komposit seperti tampak pada gambar 2.2.c. Merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.



Gambar 2.2. Variasi jenis kolom, (a) Kolom Persegi, (b) Kolom Bulat, (c) Kolom Komposit

Tulangan pengikat lateral berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh di tempatnya dan memberikan tumpuan lateral sehingga tulangan pokok hanya bisa tertekuk diantara dua pengikat lateral.

2.5.1 Kolom Pendek dengan Beban Aksial Murni

Kolom pendek dengan beban aksial Beton dan baja dianggap sebagai satu kesatuan dalam kolom yang dibebani dengan beban aksial. Karena kolom hanya dibebani dengan beban aksial, maka tidak terjadi eksentrisitas pada kolom tersebut. Tegangan & regangan yang terjadi pada kolom dianggap terdistribusi merata ke seluruh penampang kolom, akibat beban aksial yang bekerja. Sehingga regangan yang terjadi pada beton dianggap sama

dengan regangan yang terjadi pada baja ($\varepsilon_c = \varepsilon_s$). Beton mencapai kekuatan maksimum, saat regangan yang terjadi mencapai sekitar 0,002 in./in. – 0,003 in./in. Sehingga kapasitas beban aksial maksimum yang dapat dipikul oleh kolom pendek beton bertulang merupakan penjumlahan dari kekuatan beton dan kekuatan baja. Kontribusi beton yaitu $\sigma_c A_c$ atau $0,85 f'_c A_g$. Apabila digunakan luas penampang beton dihitung menggunakan luas penampang bersih beton, maka kontribusi kekuatan beton menjadi $0,85 f'_c (A_g - A_{st})$. Sedangkan kontribusi kekuatan baja adalah $\sigma_s A_s$ atau $f_s A_s$.

Rumus untuk mencari kuat beban aksial pada kolom adalah sebagai berikut :

$$P_{n(max)} = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \dots\dots\dots(2-3)$$

Untuk analisis batang beton bertulang bambu dengan beban axial tekan murni (Sri Murni Dewi, 2013) adalah sebagai berikut :

$$P_{n(max)} = 0,85 f'_c (A_g - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}}) \dots\dots\dots(2-4)$$

Untuk analisis kuat beban aksial kolom retrofit bertulang bambu dapat diperoleh persamaan :

$$P_{n(max)} = 50\%[0,85 f'_c (A_{gkolom\ asli} - A_{st}) + f_y A_{st}] + [0,85 f'_c (A_{gkolom\ retrofit} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}})] \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana :

P_n = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (kN)

A_g = luas penampang bruto beton (mm²)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

f_y = tegangan leleh dari tulangan longitudinal (MPa)

A_{bambu} = luas penampang bambu (mm²)

$f_{tk\ bambu}$ = kuat tekan bambu (MPa)

Pada rumus kolom retrofit diambil rumus 50% kuat tekan aksial dari kolom asli dikarenakan pada saat pengujian kuat tekan aksial dihentikan pada saat kolom asli mengalami penurunan kuat beban sebesar 50% dari kuat tekan puncak turun kolom asli.

2.6 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau disebut juga sebagai modulus tarik atau modulus young adalah ukuran kekakuan suatu bahan elastis. Semakin tinggi nilai modulus young suatu benda, maka semakin sulit benda menjadi elastis. Sebaliknya, semakin kecil nilai modulus young suatu benda, maka benda menjadi semakin mudah untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan.

Rumus modulus elastisitas :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (2-6)$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (kN/mm²)

σ = Tegangan (kN/mm²)

ε = Regangan

2.7 Kekakuan

Kekakuan merupakan rasio antara beban dengan perpendekan (Wibowo, 2009). Kekakuan didapatkan dengan mencari nilai kemiringan antara beban puncak dengan defleksi. Nilai kekakuan dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah retak yang terjadi pada beton. Ada dua metode untuk mencari nilai kekakuan yaitu metode tangent dan sekan. Nilai kekakuan dengan metode tangent akan lebih besar dari metode sekan, karena metode tangent didapatkan dengan mencari nilai kemiringan dari awal grafik hingga kondisi sebelum leleh, sedangkan metode sekan didapatkan dengan mencari nilai kemiringan dari awal grafik hingga kondisi beban sebesar 75% dari beban puncak. Metode sekan lebih relevan digunakan untuk mencari nilai kekakuan, karena dianggap lebih mewakili kondisi beton seutuhnya (Wibowo, 2017).

Rumus kekakuan :

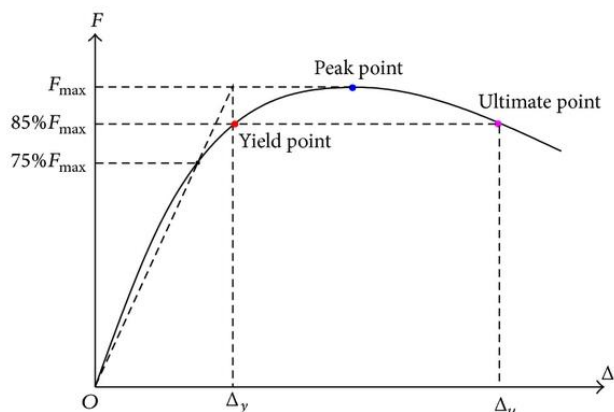
$$k = \frac{P}{\Delta} \dots \dots \dots (2-7)$$

Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

Δ = Defleksi (mm)

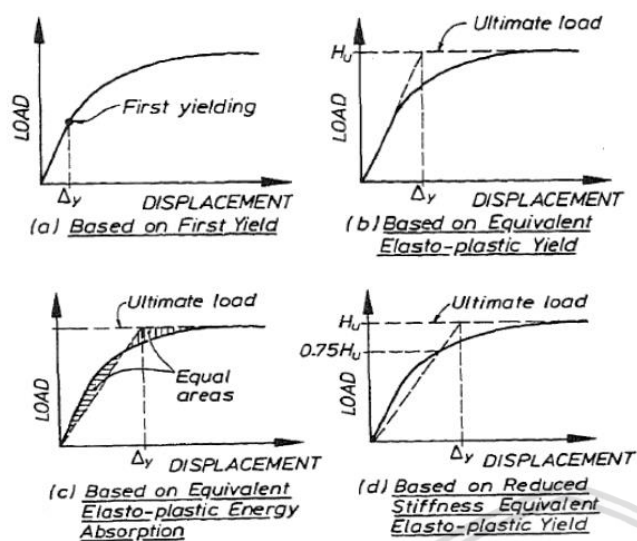


Gambar 2.3. Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial

Sumber : Hongmei Zhang et al. (2014)

Dari grafik tersebut, ada beberapa nilai kekakuan yaitu kekakuan pada kondisi elastis, leleh, *ultimate*, dan runtuh. Kekakuan elastis ialah kemampuan struktu untuk kema=bali ke bentuk awal setelah diberi beban (Anonim, 2009). Sedangkan pada grafik hubungan gaya tekan dan deformasi seperti diatas, nilai kekakuan elastis didapat dari tangen arah kurva yang berbentuk linier. Setelah struktur memasuki fase plastis maka kemampuan elastisitas suatu struktur akan hilang sehingga struktur tersebut akan berdeformasi secara permanen setelah diberikan beban. Pada fase plastis biasanya ditandai dengan munculnya retak-retak halus pada permukaan selimut beton. Jika beban terus ditingkatkan, maka struktur akan mencapai batas *ultimate* nya, yaitu ketika struktur sudah tidak mampu menahan beban lagi. Ketika struktur sudah tidak mampu menahan beban lagi, maka struktur tersebut sudah mencapai batas runtuhnya.

Menurut Park (1988) lendutan pada titik leleh dapat diambil dari titik potong beban yang mana beban diambil 75% dari beban *ultimate*.



Gambar 2.4. Beberapa Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh

Sumber : Park (1988)

2.8 Daktilitas

Keliatan (*ductility*) adalah sifat dari suatu bahan yang memungkinkan untuk berdeformasi pada saat kondisi inelastic tanpa kehilangan kekuatan pada struktur atau mengalami kerusakan. Keliatan diperlukan pada batang atau bagian yang mungkin mengalami beban yang besar secara tiba-tiba, karena perubahan bentuk yang berlebihan akan memberikan tanda-tanda ancaman kerusakan (Anonim,2010). Berikut merupakan rumus untuk mencari daktilitas dari suatu bahan :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y} \dots \dots \dots (2-8)$$

Dimana :

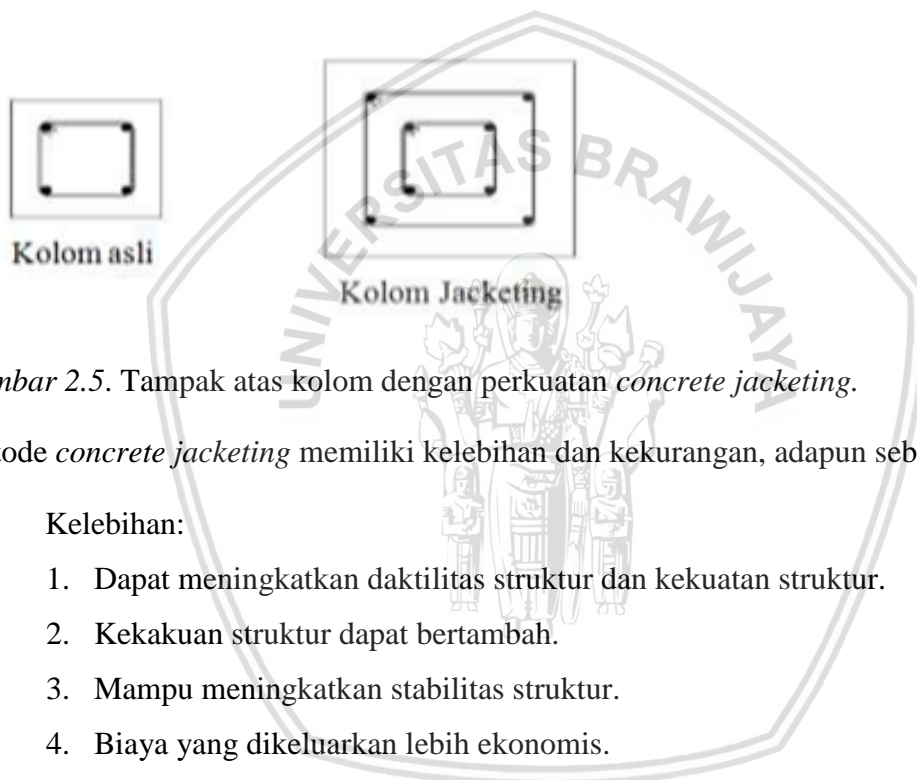
μ_{Δ} = Nilai daktilitas

Δu = Deformasi *ultimate* (mm)

Δy = Deformasi leleh (mm)

2.9 Perkuatan Kolom dengan Metode *Concrete Jacketing*

Sistem *concrete jacketing* adalah suatu metode perbaikan atau perkuatan pada sebuah struktur beton dengan cara memberikan tambahan selimut beton dan penulangan kepada struktur beton asli sebelumnya. Keuntungan utama dari sistem ini adalah metode ini dapat memberikan peningkatan dan pertambahan batas daripada kekuatan dan daktilitas beton. Keuntungan kedua, bahwasannya *jacket* dalam melindungi dari kerusakan fragment dan struktur yang diperbaiki memiliki kemampuan dalam menerima beban, karena *jacket* dapat mengurangi kegagalan geser langsung (*direct shear*), namun dapat juga meningkatkan kapasitas struktur itu sendiri.



Gambar 2.5. Tampak atas kolom dengan perkuatan *concrete jacketing*.

Metode *concrete jacketing* memiliki kelebihan dan kekurangan, adapun sebagai berikut:

- a. Kelebihan:
 1. Dapat meningkatkan daktilitas struktur dan kekuatan struktur.
 2. Kekakuan struktur dapat bertambah.
 3. Mampu meningkatkan stabilitas struktur.
 4. Biaya yang dikeluarkan lebih ekonomis.
- b. Kekurangan:
 1. Penampang pada kolom retrofit akan menjadi lebih besar sehingga dapat mengurangi ruang kosong pada struktur.
 2. Kekakuan pada kolom beresiko tidak merata dikarenakan tahap pengecoran yang kurang baik.
 3. Kemampuan kapasitas perkuatan dari metode *concrete jacketing* lebih rendah dibandingkan perkuatan dengan metode *steel jacketing*.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Penelitian dimulai pada bulan Februari 2018 sampai selesai.

3.2 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa bahan untuk mencapai tujuan penelitian, meliputi:

3.2.1 *Pozzolan Portland Cement*

Pozzolan Portland Cement yang digunakan pada penelitian ini adalah semen merk Semen Gresik kemasan 40 kg. Sebelum penelitian, kemasan semen dipastikan dalam kondisi baik dan tersegel serta tidak terjadi penggumpalan didalamnya.

3.2.2 Tulangan Baja

Tulangan bermaterialkan jenis baja yang digunakan pada penelitian ini berukuran D10 mm untuk tulangan longitudinal dan ukuran Ø6 mm untuk tulangan transversal. Tulangan longitudinal dan tulangan transversal yang bermaterialkan baja ini digunakan pada kolom asli.

3.2.3 Tulangan Bambu

Tulangan bermaterialkan jenis bambu yang digunakan pada penelitian ini adalah untuk tulangan longitudinal menggunakan bambu jenis petung dengan 3 jenis dimensi yaitu: 1x1 cm, 1x2 cm 1x0,5 cm. Untuk tulangan transversal menggunakan bambu jenis apus dengan dimensi 0,5x0,5 cm. Tulangan longitudinal dan tulangan transversal yang bermaterialkan bambu ini digunakan pada kolom retrofit.

3.2.4 Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Untuk ukuran spesifikasi agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah berukuran maksimum 2 cm pada kolom asli dan ukuran maksimum 0,5 cm pada kolom retrofit. Agregat yang digunakan diperoleh dari daerah Malang dengan melalui tahap pengujian sebelum digunakan sebagai benda uji. Tahap pengujian yang dilakukan untuk agregat yaitu analisis gradasi agregat, kadar air, dan berat jenis.

3.2.5 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.2.6 Bahan Perekat Beton

Bahan perekat beton digunakan dalam penelitian ini adalah untuk merekatkan kolom asli yang akan diperbaiki dengan kolom yang akan diretrofit. Sehingga kolom asli yang telah diberi bahan perekat akan menempel pada kolom retrofit pada saat pengecoran.

3.2.7 Bahan Perbaikan Beton

Bahan perbaikan beton yang digunakan ialah sika grouting mortar untuk menambal permukaan beton pada kolom asli dan retrofit.

3.3 Peralatan Penelitian

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk mempersiapkan material hingga proses pengujian benda uji pada akhirnya. Peralatan yang digunakan berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.3.1 Saringan

Pada Penelitian ini saringan yang digunakan untuk analisi gradasi agregat adalah No. 1,5” hingga No. 4 untuk menentukan gradasi agregat kasar (kerikil) serta saringan No. 4 hingga No. 200 untuk gradasi agregat halus (pasir).

3.3.2 Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat bahan penyusun beton serta benda uji silinder dan kolom. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan kapasitas 200 kg dengan ketelitian 10 gram dan timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,1 gram.

3.3.3 Mesin Pengaduk Beton

Mesin ini digunakan untuk mengaduk campuran bahan-bahan beton hingga menjadi campuran yang homogen.

3.3.4 Cetakan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan cetakan/bekisting untuk benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta cetakan untuk benda uji kolom dengan ukuran 12 x 12 x 30 cm dan 18 cm x 18 cm x 30 cm. Cetakan benda uji silinder terbuat dari baja dan cetakan benda uji kolom terbuat dari kayu yang dapat dibongkar pasang.

3.3.5 Alat Uji Tekan

Alat uji tekan digunakan untuk mengetahui kuat tekan dari benda uji beton sesungguhnya. Alat uji dalam penelitian ini adalah *Compression Test Machine*.

3.3.6 Alat Uji Tarik

Alat uji tarik digunakan untuk mengetahui kuat tarik dari tulangan baja D10 mm dan Ø8 mm sesungguhnya. Alat uji dalam penelitian ini adalah *Hydraulic Universal Testing Machine*.

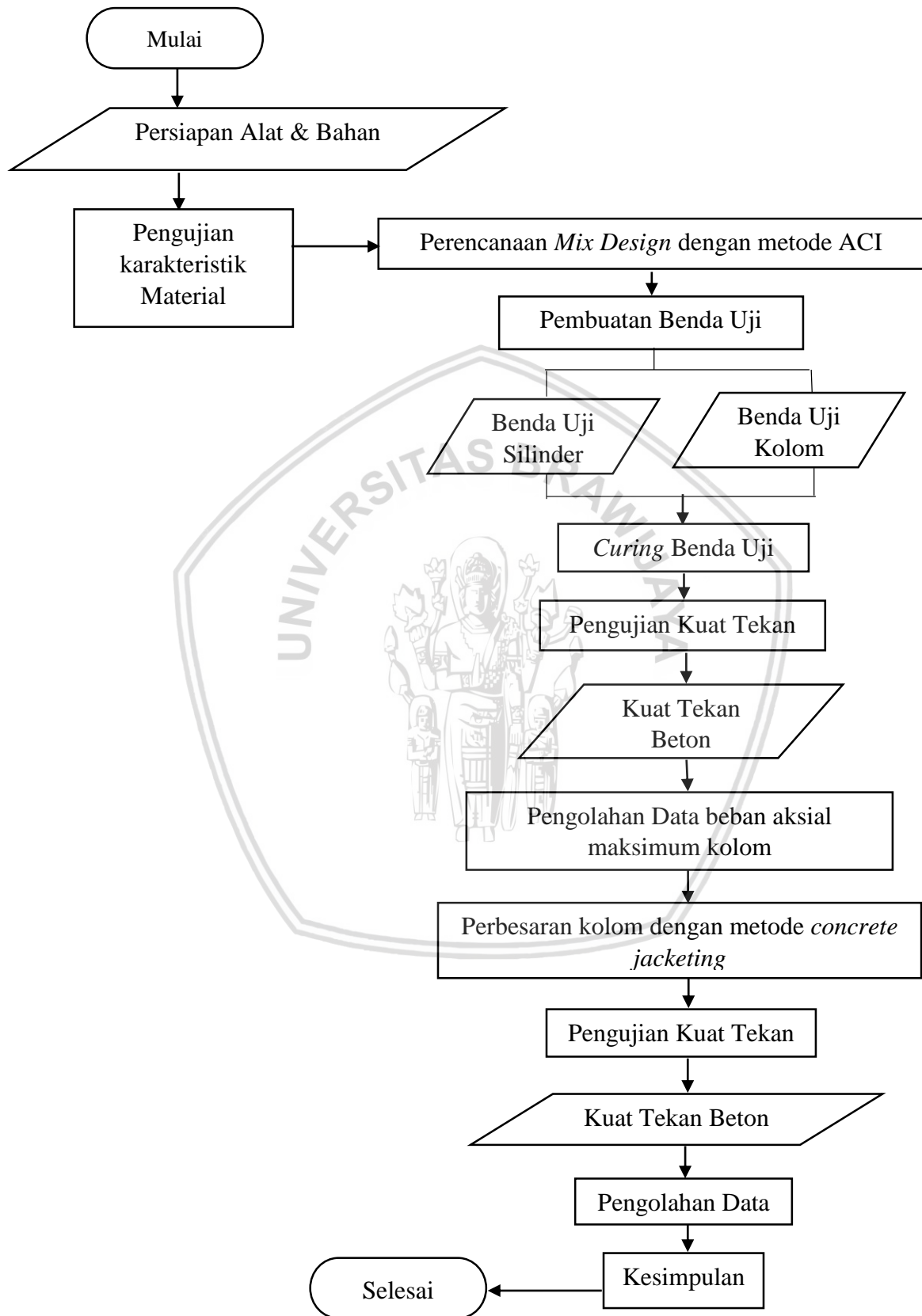
3.3.6 Dial Gauge Digital

Penelitian ini menggunakan alat tambahan *dial gauge digital* yang akan dipasang pada benda uji pada saat uji tekan. Dial ini berfungsi untuk mengetahui perubahan panjang dari benda uji pada saat diuji tekan sehingga mendapatkan data defleksi dari benda uji kolom.

3.3.7 Alat Bantu Lainnya

Alat bantu lainnya antara lain plat, kardus, ember, alat pengaduk, karung goni, serta bak air untuk proses perawatan benda uji.

3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir tahapan penelitian

3.5 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini dibuat dua jenis benda uji yaitu benda uji silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit dan benda uji kolom. Benda uji silinder memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan benda uji kolom asli berukuran 12 x 12 x 30 dan benda uji kolom retrofit berukuran 18 x 18 x 30 cm. Masing masing benda uji kolom retrofit diberikan variasi ukuran tulangan dan jumlah tulangan yang berbeda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Penelitian kolom retrofit dengan variasi rasio tulangan bambu dan konfigurasi tulangan longitudinal.

Kode Kolom	Tulangan Bambu	rho	Sengkang Bambu
			jarak 5 cm
A1	4bh 10 x 10	1,23	3 buah
B1	8bh 10 x 5	1,23	3 buah
C1	4bh 10 x 20	2,47	3 buah
D1	8bh 10 x 10	2,47	3 buah

Pada penelitian ini dikhususkan menggunakan kolom retrofit bersengkang bambu dengan kode kolom A1 – C1 dan B1 – D1. Yaitu, kolom retrofit kode A1 menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan rho sebesar 1,23 dibandingkan dengan kolom retrofit kode C1 menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 20 mm dan dengan rho sebesar 2,47, sedangkan kolom retrofit kode B1 menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 5 mm dan dengan rho sebesar 1,23 dibandingkan dengan kolom retrofit kode D1 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan rho sebesar 2,47. Sehingga nanti pada hasil penelitian akan didapatkan efektifitas rasio tulangan yang akan digunakan pada kolom retrofit yakni kolom A1 dibandingkan dengan kolom C1 dan kolom B1 dibandingkan dengan kolom D1.

Jumlah benda uji kolom asli yakni 3 buah benda uji silinder sampel kolom asli dan 12 benda uji kolom asli. Sedangkan jumlah benda uji kolom retrofit yakni 3 buah benda uji silinder sampel kolom retrofit dan 12 benda uji kolom retrofit. Semua benda uji ini digunakan untuk pengujian tekan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

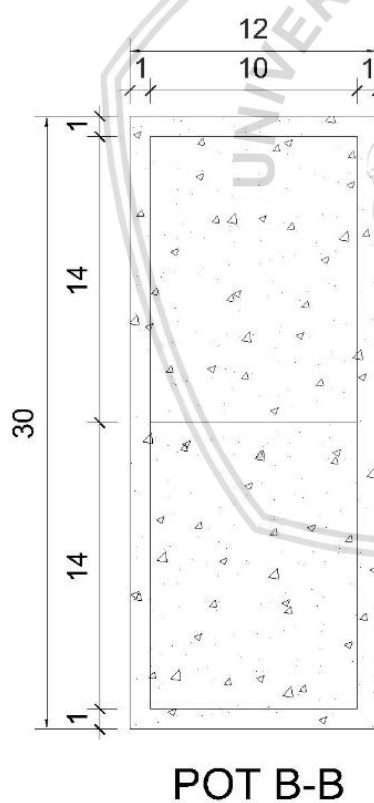
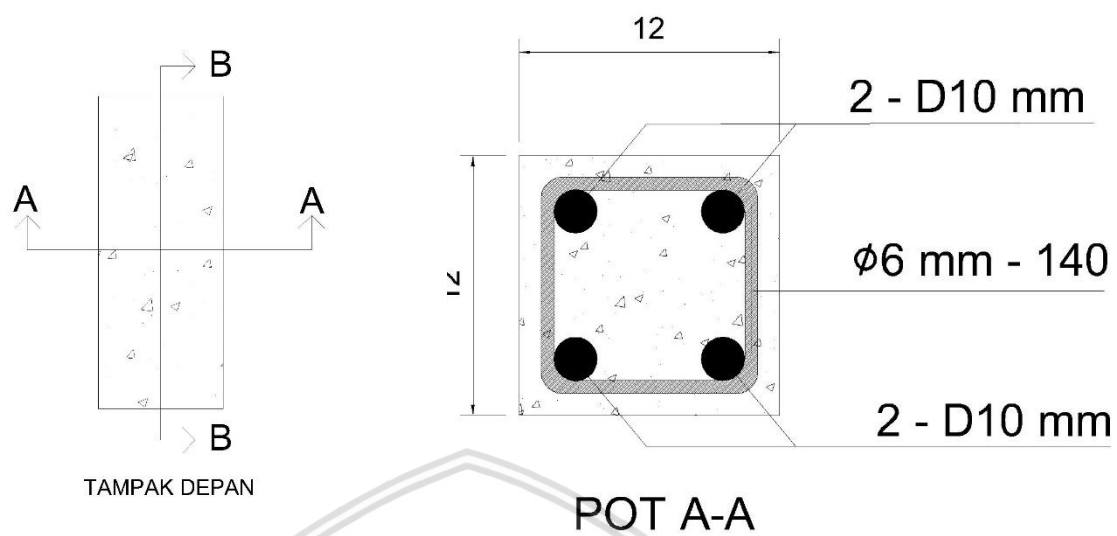
Tabel 3.2

Jumlah benda uji

Varian	Jumlah
Benda uji silinder sampel kolom asli	3 buah
Benda uji kolom asli	12 buah
Benda uji silinder sampel kolom retrofit	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode A1	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode B1	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode C1	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode D1	3 buah

Untuk benda uji silinder dibuat 1 untuk setiap variasi kolom asli dan retrofit agar dapat mengontrol kuat tekan. Dengan catatan benda uji kolom tersebut memakai tulangan atau beton bertulang sedangkan benda uji silinder tidak menggunakan tulangan atau hanya beton saja.

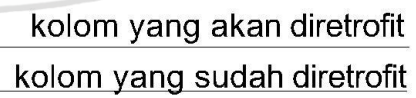
Gambar berikut adalah pemodelan benda uji pada penelitian ini

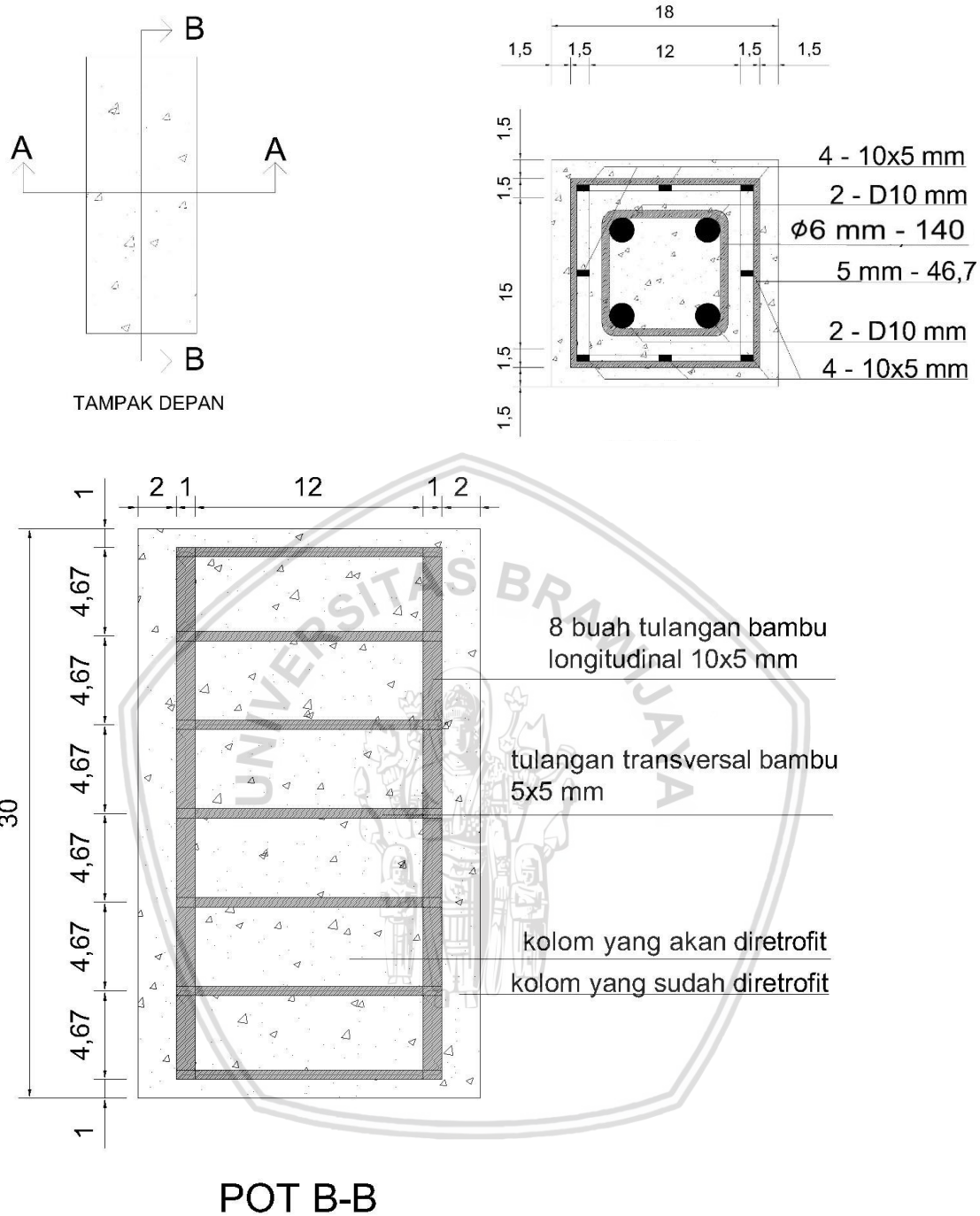


Gambar 3.2 Benda uji kolom asli

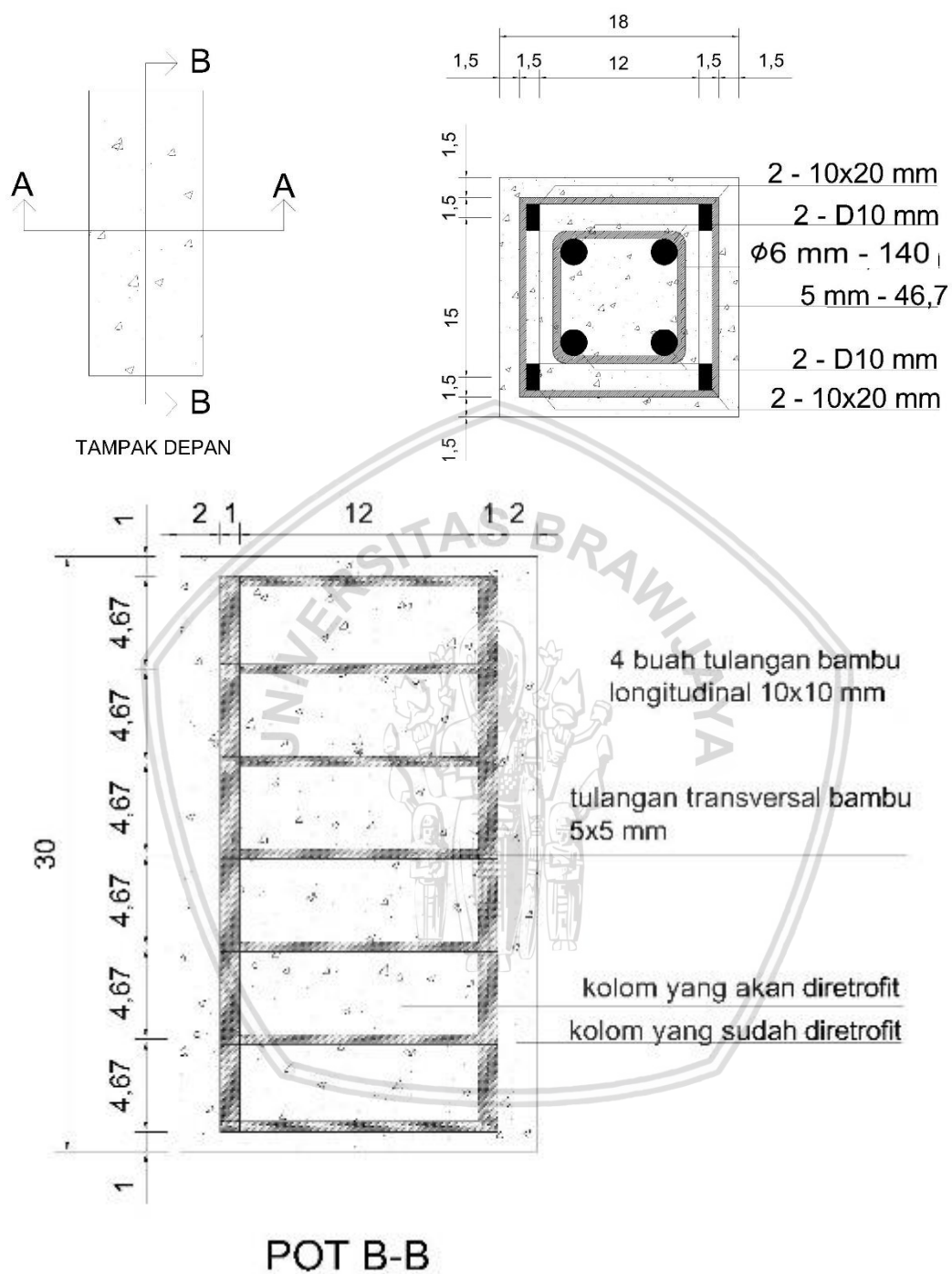


Diagram of a rectangular plot with dimensions 12 and 1 2, and a hatched area labeled "4 buah t".

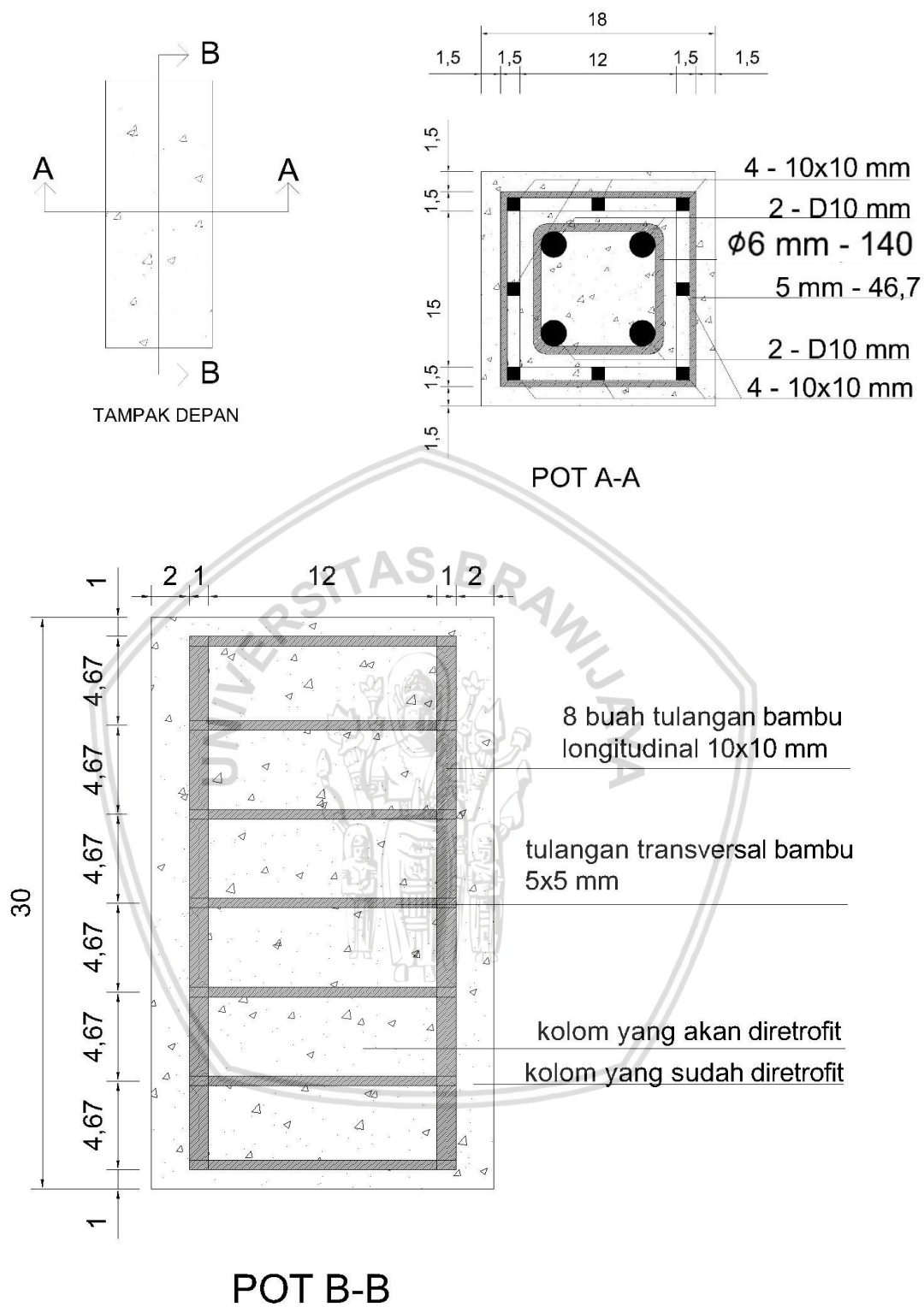




Gambar 3.4. Benda uji kolom retrofit kode C1



Gambar 3.5. Benda uji kolom retrofit kode B1



Gambar 3.6. Benda uji kolom retrofit kode D1

3.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas (*independent variable*), yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah rasio tulangan pada kolom retrofit.
2. Variabel terikat, yaitu variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas pada kolom retrofit.

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan mengacu pada buku petunjuk praktikum teknologi beton dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Bahan dasar yang diuji adalah agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). Unsur-unsur dalam pengujian karakteristik agregat halus dan kasar meliputi: analisis butiran, pengujian berat jenis penyerapan, dan kadar air.

3.7.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji kolom asli adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.
2. Bahan-bahan yang sudah dipersiapkan dimasukkan ke dalam mesin pengaduk lalu diaduk selama kurang lebih 15-20 menit hingga campuran menjadi satu.
3. Pada saat pengadukan, sebagian adonan beton diambil untuk dilakukan pengujian slump.
4. Bekisting disiapkan dengan cara memberikan oli tipis agar mudah saat melepaskan beton dari bekisting.
5. Campuran beton dituang ke dalam bekisting silinder dan kolom.

Langkah-langkah pembuatan benda uji kolom retrofit adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.
2. Bahan-bahan yang sudah dipersiapkan dimasukkan ke dalam mesin pengaduk lalu diaduk selama kurang lebih 15-20 menit hingga campuran menjadi satu atau homogen.

3. Pada saat pengadukan, sebagian adonan beton diambil untuk dilakukan pengujian slump.
4. Bekisting disiapkan dengan cara memberikan oli tipis agar mudah saat melepaskan beton dari bekisting.
5. Benda uji kolom asli yang telah diuji tekan dan telah diberi perkuatan dengan menggunakan tulangan bambu petung dan sengkang bambu apus, diberi lem perekat agar beton kolom asli dan merekat dengan baik dengan beton baru untuk kolom retrofit. Setelah itu, kolom dimasukkan kedalam bekisting/cetakan yang telah disediakan.
6. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kolom.

3.7.3 Perawatan Benda Uji

Setelah beton didiamkan selama kurang lebih 72 jam atau 3 hari, kolom dilepaskan dari bekistingnya lalu dilakukan perawatan agar semen terhidrasi dengan sempurna. Perawatan benda uji meliputi dua cara antara lain:

1. Benda uji direndam dalam bak berisi air dengan suhu $23^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$.
2. Benda uji diselimuti dengan karung goni basah dan tiap hari dibasahi terus menerus dengan air.

Pada penelitian ini digunakan perawatan benda uji dengan cara benda uji diselimuti karung goni basah sehingga tiap hari dibasahi terus menerus dengan air. Perawatan benda uji yakni selama 28 hari.

3.7.4 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari benda uji beton yang telah berumur 28 hari. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

- a. Uji tekan beton silinder
 1. Sebelum beton silinder diuji, beton terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan kerapatan beton dan berat benda uji sebagai data tambahan.
 2. Pada permukaan atas benda uji dilapisi (*caping*) dengan mortar belerang dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton.
 3. Benda uji diletakkan secara sentris pada mesin uji tekan.

4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur.
 5. Saat beton sudah mengalami kerusakan, beban maksimum segera dicatat.
- b. Uji tekan kolom
1. Sebelum kolom diuji, kolom terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan kerapatan beton dan berat benda uji sebagai data tambahan.
 2. Pada permukaan atas benda uji kolom plat besi dan karet ban dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan betonl.
 3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.
 4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur. Dan untuk mendapatkan data perubahan panjang dari benda uji, digunakan dial yang berguna untuk membaca hasil perubahan panjang pada saat setiap penambahan beban. Pada setiap penambahan beban, data hasil bacaan tersebut dicatat untuk mendapatkan grafik hubungan gaya tekan dan defleksi serta grafik hubungan tegangan dan regangan beton.
 5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.
 6. Dan langkah yang sama dilakukan kembali mulai langkah 1 untuk mendapatkan data yang sama pada kolom retrofit

3.7.5 Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik dari tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tarik baja adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu diukur diameternya dengan jangka sorong untuk mengetahui diameter sebenarnya tulangan tersebut.
2. Siapkan kertas millimeter blok untuk tempat hasil pembacaan tegangan regangan tarik dari benda uji dapat tergambar.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji tarik. Pastikan bahwa benda uji benar-benar dalam keadaan terjepit bagian atas dan bawahnya dengan kuat.
4. Mesin uji tarik dijalankan hingga benda uji putus.

Tabel 3.4.

Form pengumpulan data dari pengujian kuat beban aksial kolom asli dan kolom retrofit.

NO	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Beban Aksial Ultimate Kolom Asli Aktual	Rata-Rata Kuat Beban Aksial Ultimate Kolom Asli Teoritis Aktual
		(MPa)	(kN)	(kN)

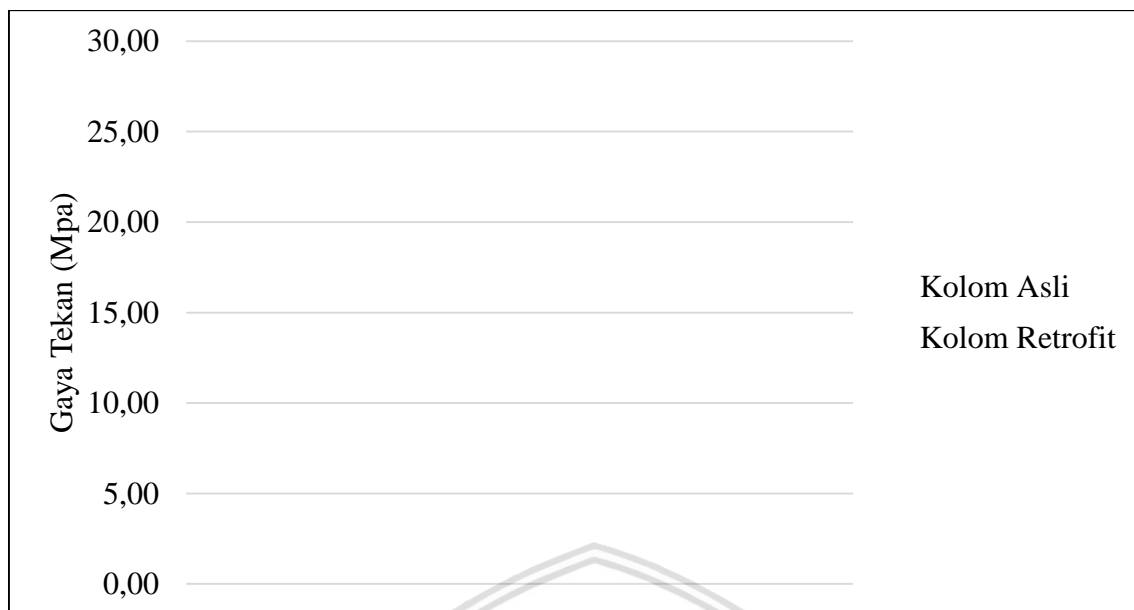
Tabel 3.5

Form pengumpulan data dari pengujian uji tarik tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm

Benda Uji	Diameter	Tegangan Leleh (fy)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)

3.8.2 Pengolahan Data

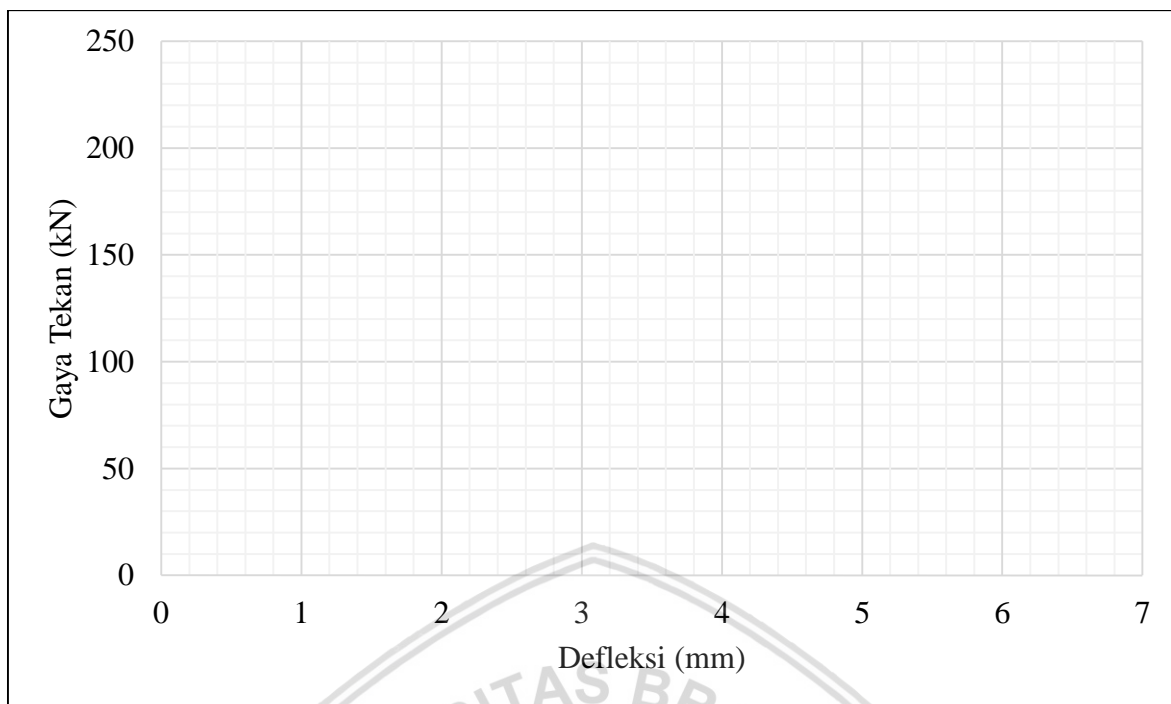
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan tegangan-regangan kolom retrofit, kapasitas aksial tekan kolom dan defleksi kolom retrofit, kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit dan efektifitas rasio tulangan longitudinal pada kolom retrofit. Penelitian ini menggunakan alat *compression test* dan *dial gauge*, *compression test* tersebut akan didapatkan kapasitas aksial tekan maksimum kolom dan akan dibagi dengan luasan penampang kolom tersebut maka akan di dapatkan daya tekan dari kolom tersebut dan *dial gauge* akan menghasilkan nilai defleksi yang didapatkan dari hasil perpanjangan/perpendekan kolom akibat diberi beban. Selain itu, data-data yang telah



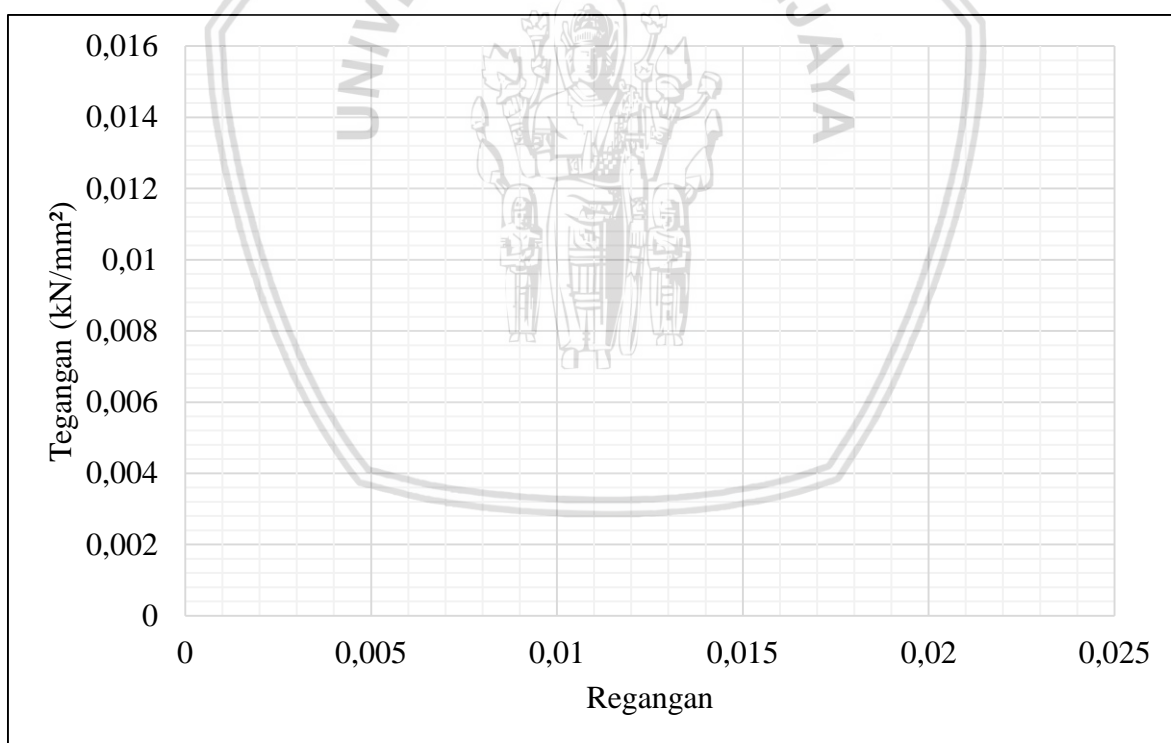
Gambar 3.7. Grafik perbandingan kuat tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom retrofit.



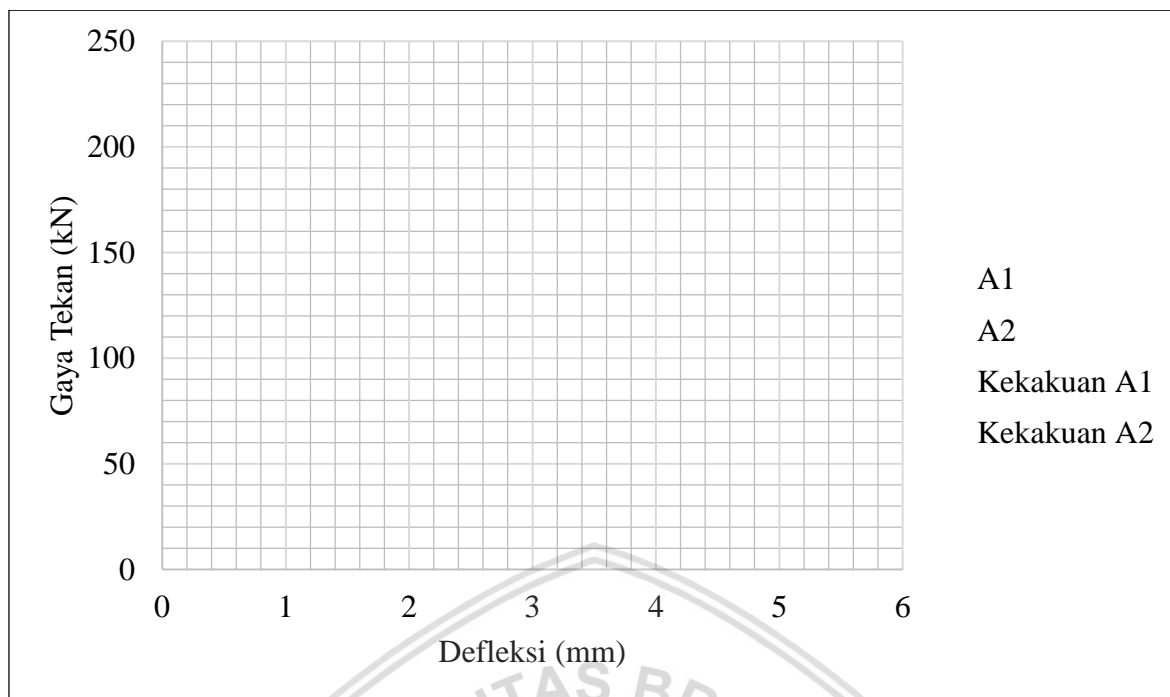
Gambar 3.8. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli dengan retrofit



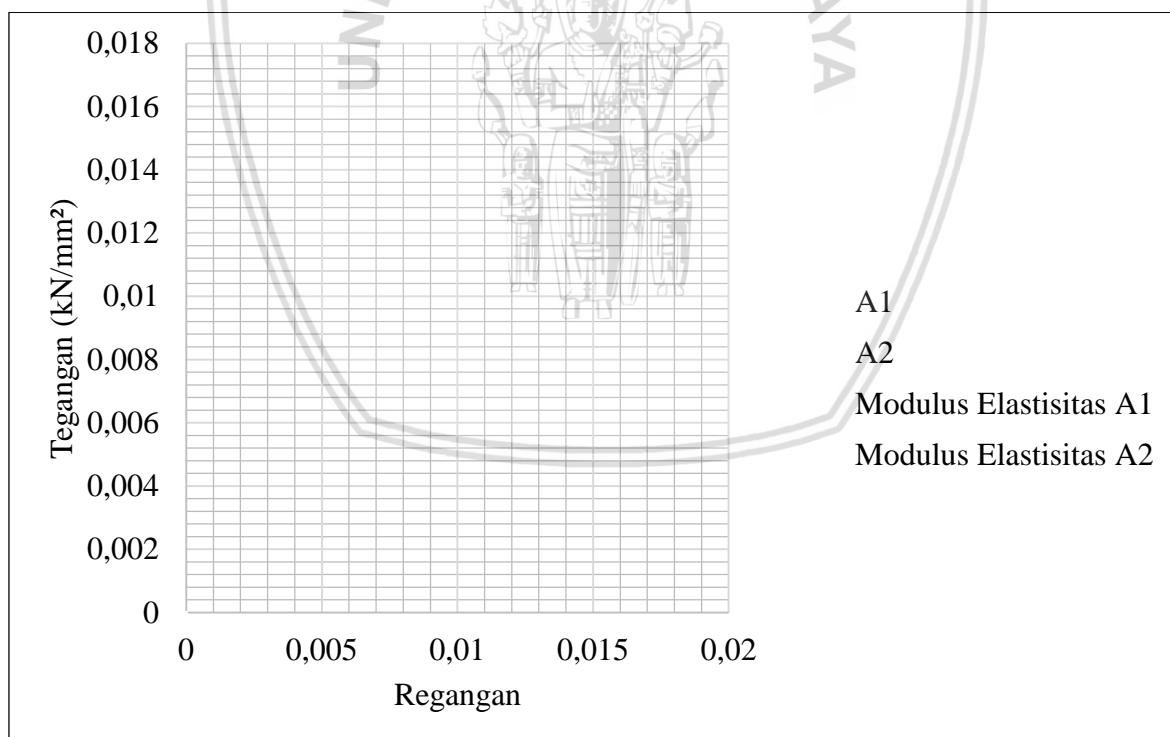
Gambar 3.9. Grafik gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit



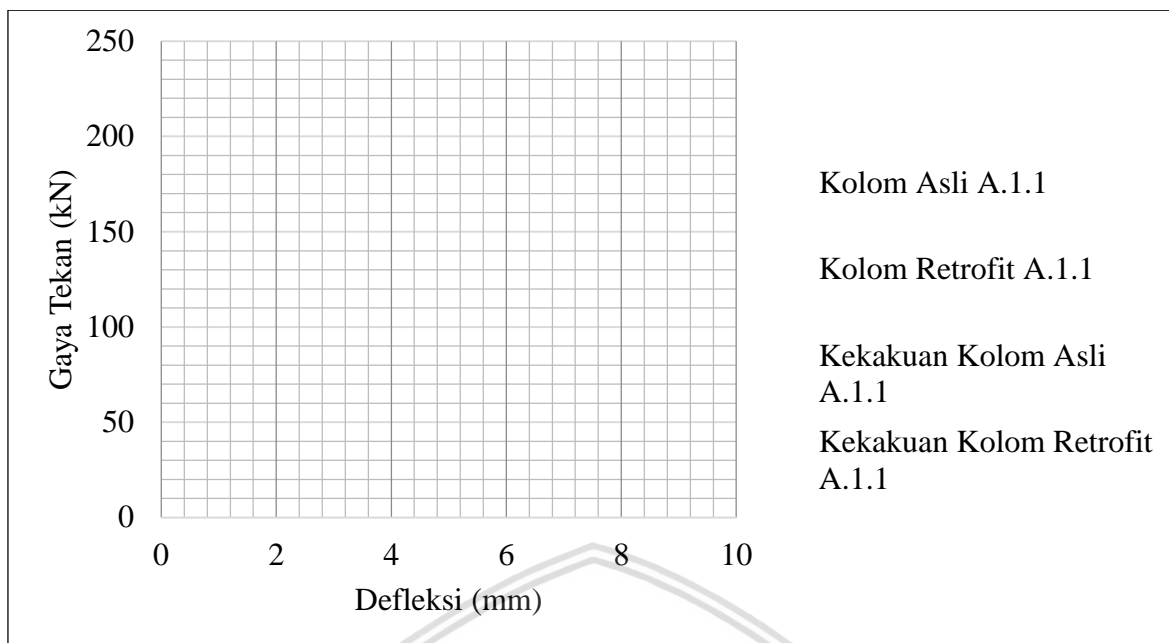
Gambar 3.10. Grafik tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit



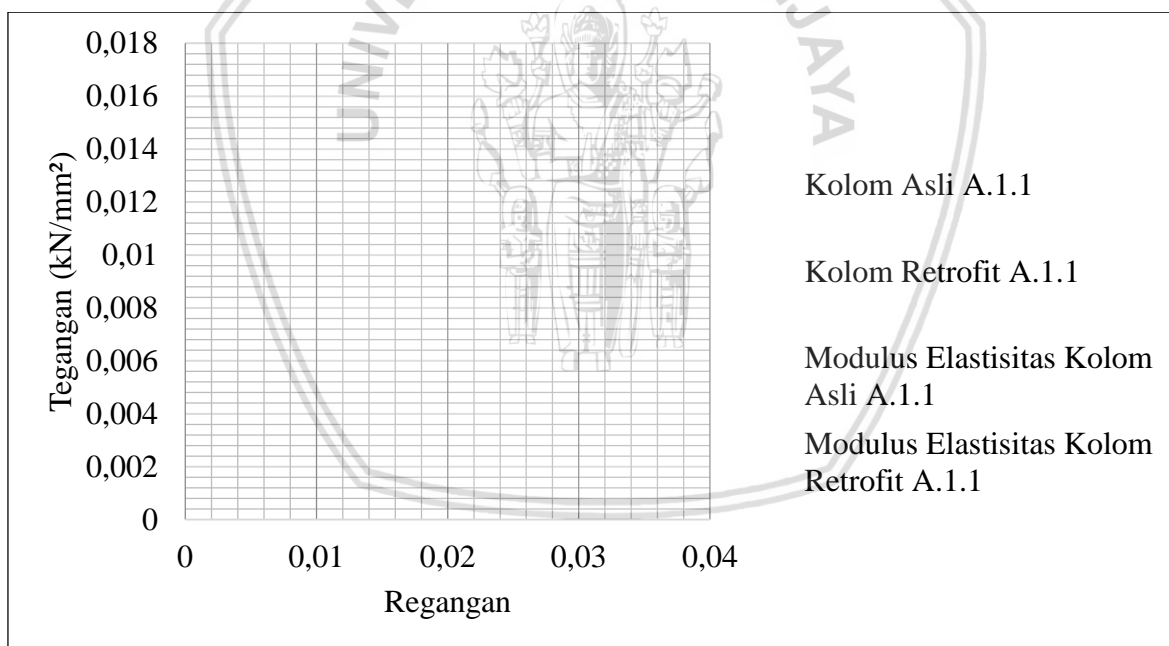
Gambar 3.11. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit



Gambar 3.12. Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit



Gambar 3.13. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit

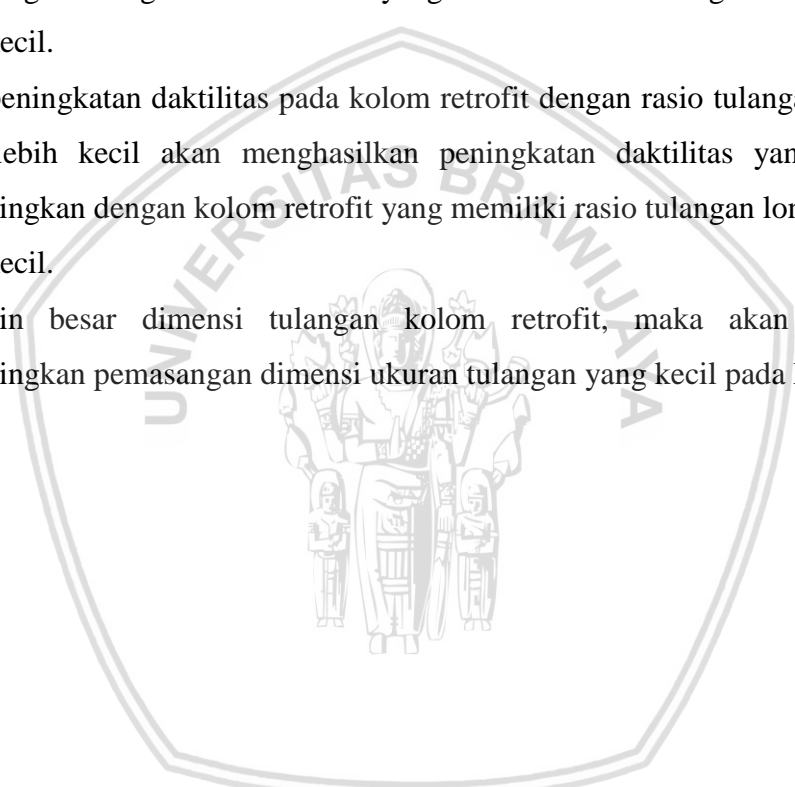


Gambar 3.14. Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dengan kolom retrofit.

3.9 Hipotesis Penelitian

Dari tinjauan pustaka yang telah dibahas diatas didapatkan hipotesis untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kuat tekan maksimum kolom retrofit dengan rasio tulangan longitudinal yang lebih besar akan menghasilkan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit yang memiliki rasio tulangan longitudinal yang lebih kecil.
2. Nilai kekakuan dan modulus elastisitas pada kolom retrofit dengan rasio tulangan longitudinal yang lebih besar akan menghasilkan kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit yang memiliki rasio tulangan longitudinal yang lebih kecil.
3. Nilai peningkatan daktilitas pada kolom retrofit dengan rasio tulangan longitudinal yang lebih kecil akan menghasilkan peningkatan daktilitas yang lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit yang memiliki rasio tulangan longitudinal yang lebih kecil.
4. Semakin besar dimensi tulangan kolom retrofit, maka akan lebih efektif dibandingkan pemasangan dimensi ukuran tulangan yang kecil pada kolom retrofit.





BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Bahan

4.1.1 Agregat Halus

Hasil pemeriksaan untuk agregat halus yang akan digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Zona Agregat = Zona 1
2. Berat Jenis (SSD) = 2.48
3. Berat isi = 1436,9 gr/cc
4. Absorpsi = 4,43 %
5. Kadar air = 4,43 %

4.1.2 Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan agregat kasar adalah sebagai berikut :

1. Zona Agregat = max 20 mm untuk kolom asli dan 10 mm untuk retrofit
2. Berat Jenis (SSD) = 2,72
3. Berat isi = 1526,7 gr/cc
4. Absorpsi = 0,25 %
5. Kadar air = 2,42 %

4.1.3 Baja Tulangan

Pengujian baja tulangan ini diperlukan untuk mengetahui berapa tegangan leleh dan tegangan maksimum yang dihasilkan oleh baja tulangan tersebut. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya. Hasil pengujian yang didapatkan dari uji tegangan leleh baja tulangan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1

Uji Tulangan Baja

Benda Uji	Diameter (mm)	Tegangan Leleh (Mpa)	Tegangan Ultimit (Mpa)	Tegangan Leleh Rata-Rata (Mpa)	Tegangan Ultimit Rata-Rata (Mpa)
1A	6	282,94	389,05		
1B	6	282,94	353,68	282,94	371,36
1C	6	282,94	353,68		
2A	10	407,44	560,23		
2B	10	407,44	547,49	409,56	456,95
2C	10	413,80	572,96		

4.1.4 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini merupakan air bersih dari Perusahaan Air Minum (PDAM) Kota Malang dan dianggap telah memenuhi syarat sebagai bahan pelumas dan pencampur semen dengan agregat, sehingga dalam penelitian tidak dianalisis lebih lanjut.

4.2 Campuran Beton

Pada penelitian kali ini, perbandingan campuran beton menggunakan teori berdasarkan perancangan proporsi adukan beton cara Inggris "*The British Mix Design Method* / Departemen Pekerjaan Umum".

Hasil yang didapatkan dari perhitungan perbandingan campuran beton untuk kolom asli dan kolom retrofit didapatkan proporsi bahan berdasarkan perbandingan berat sebagai berikut:

Kolom asli: Semen : Air : Pasir : Kerikil = 1 : 0,7 : 2,3 : 3

Kolom retrofit: Semen : Air : Pasir : Kerikil = 1 : 0,7 : 2,3 : 3

4.3 Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian slump (*Slump Test*). Tujuan dari pengujian slump ialah untuk mengetahui tingkat kekentalan dari suatu adukan beton. Alat yang digunakan adalah "kerucut Abrams". Untuk FAS sebesar 0.6 didapatkan nilai rata-rata slump 11 untuk beton kolom asli (12 x 12 x 30) cm, nilai slump 13 untuk beton kolom retrofit (18 x 18 x 30) cm

Tabel 4.2

Hasil Uji Slump Beton Benda Uji Silinder (Sampel Benda Uji Kolom Asli)

NO	Kode Benda Uji	Slump (cm)
1	A1	11
2	B1	11
3	C1	11
4	D1	11

Tabel 4.3

Hasil Uji Slump Beton Benda Uji Silinder (Sampel Benda Uji Kolom Retrofit)

NO	Kode Benda Uji	Slump (cm)
1	A1	13
2	B1	13
3	C1	13
4	D1	13

Dapat dilihat bahwa pada tabel 4.2 dan tabel 4.3 memiliki nilai slump yang berbeda namun hal ini tidak menjadi masalah karena slump di desain menggunakan nilai (60-180) mm.

4.4 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Kolom asli dan kolom retrofit pada penelitian ini menggunakan benda uji beton silinder supaya dapat mengetahui kuat tekan beton (f'_c) dari setiap benda uji kolom. Benda uji silinder ini memiliki dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Perawatan atau curing pada penelitian kali ini dilakukan dengan cara semua beton yang telah dicor dan dilepas bekistingnya diselimuti dengan karung goni basah selama 28 hari. Proses curing ini bertujuan agar beton yang sudah selesai dicor tidak mengalami rangkak dan susut. Dibawah ini adalah rumus untuk menghitung kuat tekan beton (f'_c).

$$f'c = \frac{P_{max}}{A}$$

Dimana :

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

P_{max} = Beban maksimum (kN)

A = Luas tekan penampang (mm²)

Hasil pengujian kuat tekan beton silinder ditampilkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4

Hasil uji kuat tekan beton benda uji silinder (sampel benda uji kolom asli)

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kN)	Gaya Tekan (Mpa)	Gaya Tekan Rata-Rata (Mpa)
1	A1	28	11	12,8	336	19,01	19,24
2	A2		11	12,75	344	19,47	
3	A3		11	12,8	324	18,33	

Tabel 4.5

Hasil uji kuat tekan beton benda uji silinder (sampel benda uji kolom retrofit)

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kN)	Gaya Tekan (Mpa)	Gaya Tekan Rata-Rata (Mpa)
1	R1	28	13	12.25	160	9,05	13,58
2	R2		13	12.35	231	13,07	
3	R3		13	12.4	329	18,62	

Contoh perhitungan kuat tekan beton (Beton A1 benda uji silinder sampel benda uji kolom asli):

Dik :

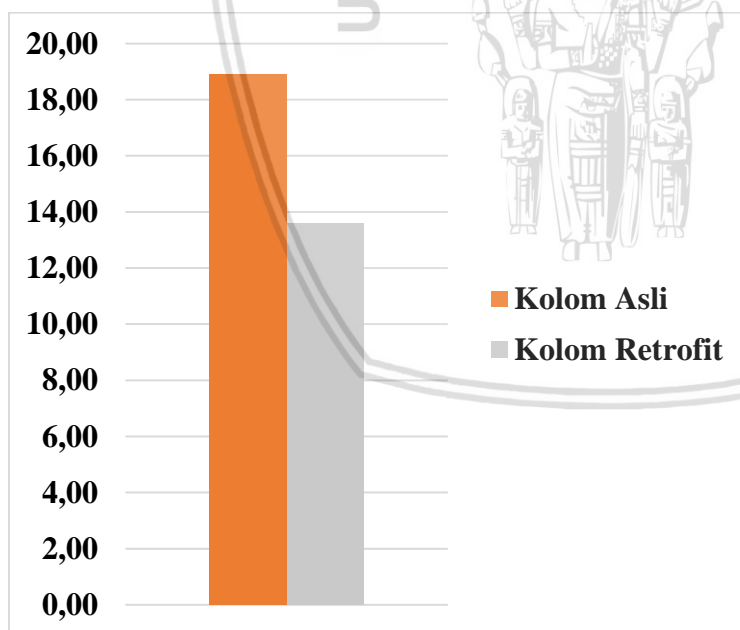
$$P_{max} = 334 \text{ kN} = 334000 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2 \\ &= 17671,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dit : f'_c ?

Jawab :

$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P_{max}}{A} \\ &= \frac{334000}{17671,46} \\ &= 18,9 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Gambar 4.1. Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom retrofit

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapat bahwa nilai kuat tekan beton asli memiliki rata-rata sebesar 18,9 Mpa dan nilai rata-rata kuat tekan kolom retrofit adalah 13,58

Mpa. Mutu beton yang direncanakan pada penelitian ini adalah sebesar 15 Mpa. Hasil ini menunjukkan bahwa beton yang digunakan mendekati dengan perencanaan *mix design*.

4.5 Pengujian Kuat Beban Aksial Kolom

Penelitian ini direncanakan untuk membuat sampel sebanyak 12 kolom asli dan 12 kolom retrofit. Dimensi untuk kolom asli adalah 12 x 12 x 30 cm dan dimensi untuk kolom retrofit adalah 18 x 18 x 30 cm. Fungsi pengujian kuat beban aksial kolom ditujukan untuk mengetahui kuat beban aksial kolom nominal (P_n).

Perawatan atau curing pada penelitian kali ini dilakukan dengan cara semua beton yang telah dicor dan dilepas bekistingnya diselimuti dengan karung goni basah selama 28 hari. Proses curing ini bertujuan agar beton yang sudah selesai dicor tidak mengalami rangkak dan susut. Setelah proses perawatan kolom selesai, maka langkah selanjutnya adalah dilakukan pengujian tekan. Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung kuat beban aksial kolom (P_n).

Rumus kuat beban aksial pada kolom asli :

$$P_{n(max)} = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

Rumus kuat beban aksial pada kolom retrofit :

$$P_{n(max)} = 50\% [0,85 f'_c (A_{gkolom\ asli} - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] + [0,85 f'_c (A_{gkolom\ retrofit} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}})]$$

Dimana :

P_n = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (kN)

A_g = luas penampang bruto beton (mm²)

A_{st} = luas penampang tulangan baja (mm²)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

f_y = tegangan leleh dari tulangan longitudinal (MPa)

A_{bambu} = luas penampang bambu (mm²)

$f_{tk\ bambu}$ = kuat tekan bambu (MPa)

Pada rumus kolom retrofit diambil rumus 50% kuat tekan aksial dari kolom asli dikarenakan pada saat pengujian kuat beban aksial dihentikan pada saat kolom asli mengalami penurunan kuat tekan sebesar 50% dari kuat tekan puncak turun kolom asli.

Hasil pengujian gaya tekan kolom ditampilkan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6

Hasil kuat beban aksial kolom asli

NO	Kode Benda Uji		Kuat Tekan Beton (fc') (Mpa)	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Teoritis (Mpa)	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Aktual (kN)	Rata-Rata Kuat Tekan Maksimum Aktual (kN)
1	A1	A.1.1	19,24	359,03	204,80	197,20
2		A.1.2			191,00	
3		A.1.3			195,80	
4	B1	B.1.1	19,24	359,03	178,00	190,40
5		B.1.2			248,10	
6		B.1.3			180,70	
7	C1	C.1.1	19,24	359,03	207,80	191,83
8		C.1.2			258,70	
9		C.1.3			209,30	
10	D1	D.1.1	19,24	359,03	198,90	181,40
11		D.1.2			176,80	
12		D.1.3			192,90	

Tabel 4.7

Hasil rata-rata kuat beban aksial kolom asli

NO	Kode Benda Uji Kolom Asli	Gaya Tekan Beton (fc') (Mpa)	Kekuatan Nominal Kolom (Pn) Secara Teoritis kN	Kekuatan Maksimum Kolom (Pu) Secara Aktual kN
1	A1	19,24	359,03	197,20
2	B1	19,24	359,03	190,40
3	C1	19,24	359,03	191,83
4	D1	19,24	359,03	181,4

Untuk tabel rata-rata kuat tekan aksial pada kolom asli yang berada di tabel 4.6 didapatkan dari rata-rata gaya tekan pada tabel L.4.1, L.4.3, L.4.5 dan L.4.7 bukan secara perhitungan matematis karena kuat tekan maksimum pada masing-masing kolom berada pada defleksi yang berbeda.

Contoh perhitungan kuat beban aksial nominal kolom asli ($P_n \max$) (Kolom A.1) :

Dik :

$$f'_c = 18,9 \text{ MPa}$$

$$A_g = 120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} = 14400 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 = 78.53 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 409.56 \text{ MPa}$$

Dit : $P_n \max$?

Jawab :

$$P_{n(max)} = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

$$P_{n(max)} = 0,85 \times 18,9 (14400 - 45,36) + 266,73 \times 45,36$$

$$P_{n(max)} = 262247,42 \text{ N} = 262,24 \text{ kN}$$

Tabel 4.8

Hasil kuat beban aksial kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Beton (f'_c)	Kuat Tekan Kolom Retrofit Maksimum Teoritis	Rata-Rata Kuat Tekan Maksimum Aktual
		(Mpa)	(Mpa)	(kN)
1	A1	A.1.1	13,58	235
2		A.1.2		
3		A.1.3		
4	B1	B.1.1	13,58	219,37
5		B.1.2		
6		B.1.3		
7	C1	C.1.1	13,58	242,37
8		C.1.2		
9		C.1.3		
10	D1	D.1.1	13,58	236,23
11		D.1.2		
12		D.1.3		

Tabel 4.9

Hasil rata-rata kuat beban aksial kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom Retrofit	Gaya Tekan Beton (fc')	Kekuatan Nominal Kolom (Pn) Secara Teoritis	Kekuatan Maksimum Kolom (Pu) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN
1	A1	13,58	395,32	235,00
2	B1	13,58	395,32	219,37
3	C1	13,58	412,58	242,37
4	D1	13,58	412,58	236,23

Pada tabel rata-rata kuat tekan aksial pada kolom retrofit yang berada di tabel 4.9 didapatkan dari rata-rata gaya tekan pada tabel L.4.2, L.4.4, L.4.6 dan L.4.8 bukan secara perhitungan matematis karena kuat tekan maksimum pada masing-masing kolom berada pada defleksi yang berbeda.

Contoh perhitungan kuat beban aksial nominal kolom retrofit (Kolom A.1):

Dik :

f'_c kolom asli = 18,9 MPa

f'_c kolom retrofit = 13,58 MPa

A_g kolom asli = 120 mm x 120 mm = 14400 mm²

A_g kolom retrofit = 180 mm x 180 mm = 32400 mm²

A_{st} = $\frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 = 78,53 \text{ mm}^2$

A bambu = 10 mm x 10 mm = 100 mm²

f_y = 409,56 MPa

f_{tk} bambu = 43,13 MPa

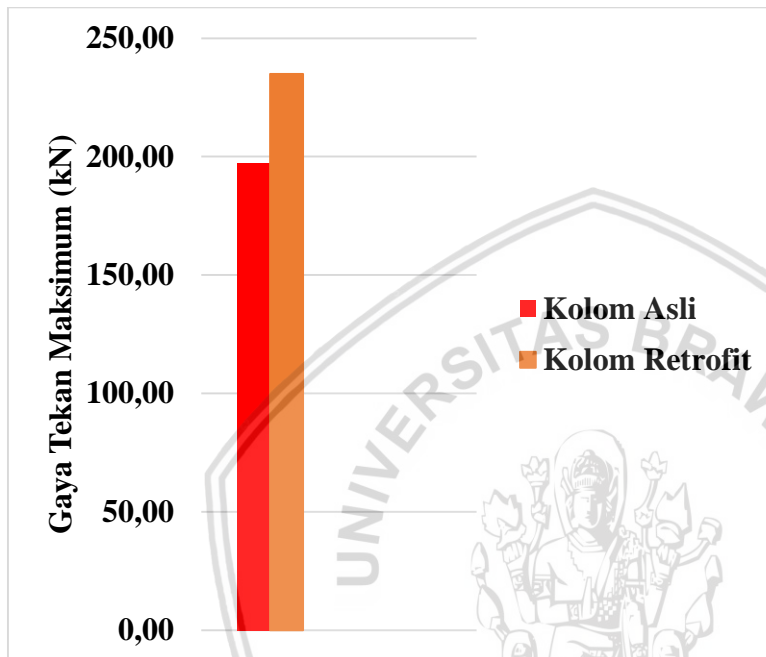
Dit : P_n (max) ?

Jawab :

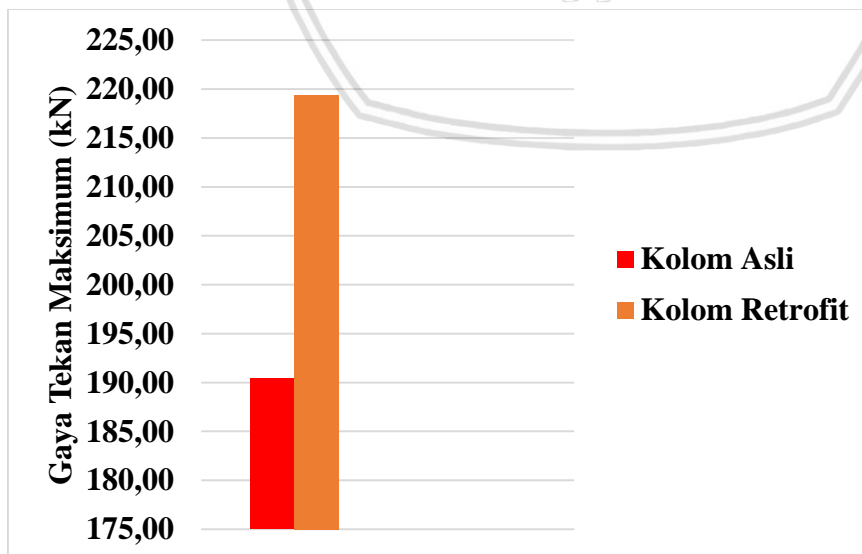
$$P_{n(max)} = 50\%[0,85 f'_c (A_{gkolom asli} - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] + [0,85 f'_c (A_{gkolom retrofit} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}})].$$

$$P_{n(max)} = 50\%[0,85 \times 18,9 (14400 - 78,53) + 409,56 \times 78,53] + [0,85 \times 13,58 ((32400 - 14400) - 100) + (100 \times 43,13)].$$

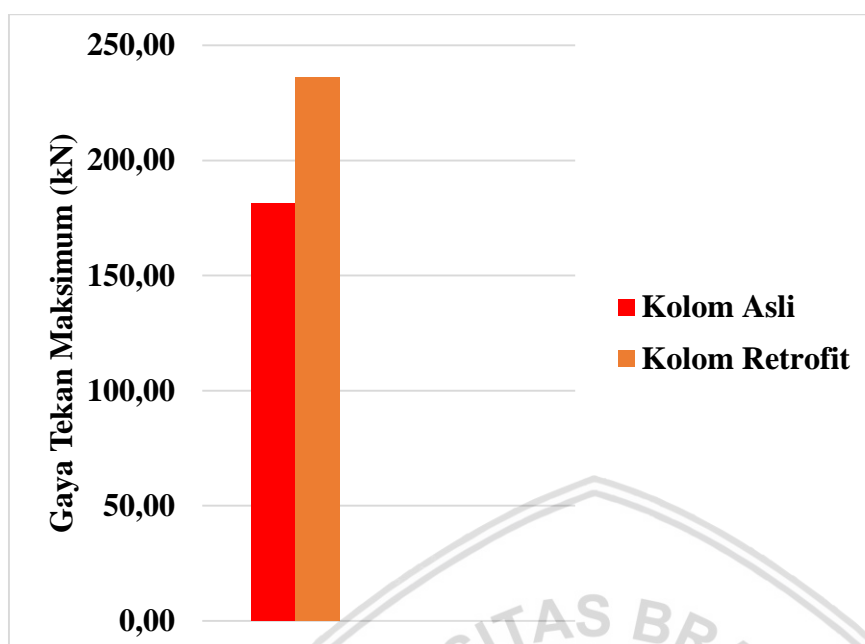
$$P_{n(max)} = 342075,005 \text{ N} = 342,075 \text{ kN}$$



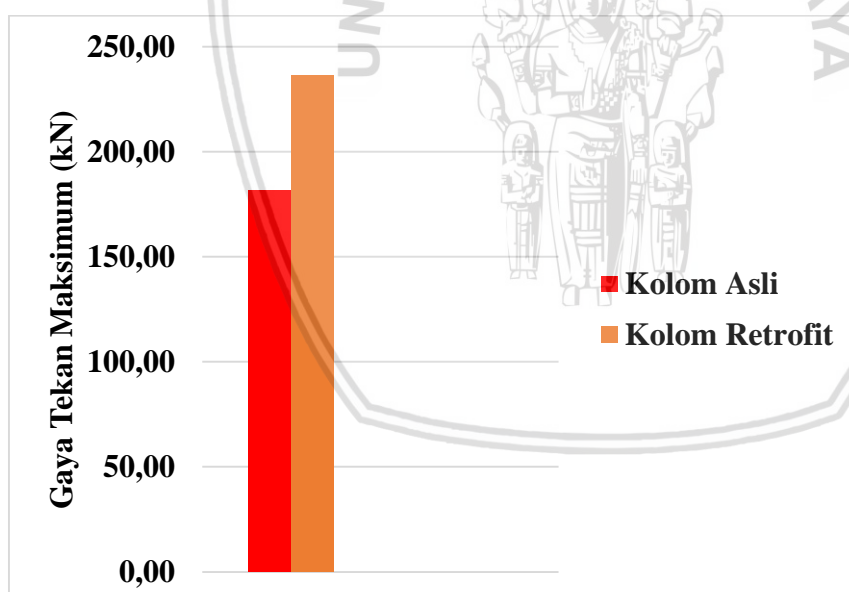
Gambar 4.2. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli A1 dengan kolom retrofit A1



Gambar 4.3. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli B1 dengan kolom retrofit B1



Gambar 4.4. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli C1 dengan kolom retrofit C1



Gambar 4.5. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli D1 dengan kolom retrofit D1

Dari hasil penelitian kuat beban aksial kolom asli dengan kolom retrofit didapatkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli A.1 sebesar 197,2 kN sedangkan hasil yang didapatkan pada kolom retrofit adalah sebesar 235 kN, apabila hasil dari kuat beban aksial maksimum tersebut dipresentasikan maka terjadi kenaikan kuat beban pada kolom

retrofit A.1 sebesar 16,085% dari kuat beban aksial maksimum kolom asli A.1. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli B.1 sebesar 190,4 kN sedangkan hasil yang didapatkan pada kolom retrofit adalah sebesar 219,37 kN, apabila hasil dari kuat beban aksial maksimum tersebut dipresentasikan maka terjadi kenaikan kuat beban pada kolom retrofit B.1 sebesar 13,2% dari kuat beban aksial maksimum kolom asli B.1. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli C.1 sebesar 223,85 kN sedangkan hasil yang didapatkan pada kolom retrofit adalah sebesar 242,37 kN, apabila hasil dari kuat beban aksial maksimum tersebut dipresentasikan maka terjadi kenaikan kuat beban pada kolom retrofit C.1 sebesar 7,62% dari kuat beban aksial maksimum kolom asli C.1. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli D.1 sebesar 181,4 kN sedangkan hasil yang didapatkan pada kolom retrofit adalah sebesar 236,23 kN, apabila hasil dari kuat beban aksial maksimum tersebut dipresentasikan maka terjadi kenaikan kuat beban pada kolom retrofit D1.1 sebesar 23.21% dari kuat beban aksial maksimum kolom asli D.1.

4.6 Pembahasan

4.6.1 Pembahasan Mengenai Gaya Tekan dan Defleksi Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

Pembahasan mengenai hubungan gaya tekan dan defleksi antara kolom asli dengan kolom retrofit bertujuan untuk mengetahui nilai kekakuan suatu benda. Nilai kekakuan pada suatu struktur penting untuk diketahui agar menjaga konstruksi supaya tidak melendut lebih dari lendutan yang disyaratkan. Nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan dari hubungan antara beban dan defleksi.

Nilai kekakuan didapatkan dari rumus :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

Δ = Defleksi (mm)

Pada analisis data untuk mencari nilai kekakuan kolom asli dan kolom retrofit memakai metode yang dilakukan oleh Park (1988) yakni, untuk nilai gaya tekan diambil dari

75 % dari nilai gaya tekan maksimum dan nilai defleksi diambil pada 75 % dari nilai gaya tekan maksimum.

Tabel 4.10

Tabel data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)		
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	
1	A1	A.1.1	204,8	215,2	153,60	161,40	2,24	1,48	68,69	109,00
2		A.1.2	191,0	116,9	143,25	87,68	2,14	0,42	66,81	211,15
3		A.1.3	195,8	257,9	146,85	193,43	1,04	1,52	141,42	127,00
4	B1	B.1.1	178,0	265,8	133,50	199,35	0,69	0,40	194,62	493,21
5		B.1.2	248,1	228,3	186,08	171,23	0,67	0,88	279,15	195,29
6		B.1.3	180,7	228,4	135,53	171,30	0,86	2,06	158,02	82,99
7	C1	C.1.1	207,8	238,9	155,85	179,18	2,31	1,98	67,35	90,45
8		C.1.2	258,7	268,8	194,03	201,60	0,72	2,33	269,76	86,45
9		C.1.3	209,3	238,9	156,98	179,18	0,97	1,17	161,95	152,58
10	D1	D.1.1	198,9	229,5	149,18	172,13	1,17	1,92	127,48	89,53
11		D.1.2	176,8	257,8	132,60	193,35	1,47	0,93	90,39	208,52
12		D.1.3	192,9	272,1	144,68	204,08	1,16	1,54	124,76	132,64

Tabel 4.11

Tabel data rata –rata gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A1	197,2	235,0	147,90	176,25	1,81	1,58	81,57	111,42
2	B1	190,4	219,4	142,80	164,53	0,67	0,86	214,00	192,34
1	C1	223,9	242,4	167,89	181,78	0,76	1,60	221,57	113,96
2	D1	181,4	236,2	136,05	177,18	1,18	1,19	115,67	148,80

Contoh perhitungan kekakuan kolom (k) (Kolom retrofit A.1) :

Dik :

$$P_{\max} = 197,2 \text{ kN}$$

$$75\% P_{\max} = 75 \% \times 192,5 = 147,9 \text{ kN}$$

$$\Delta = 1,73 \text{ mm}$$

Dit : k ?

Jawab :

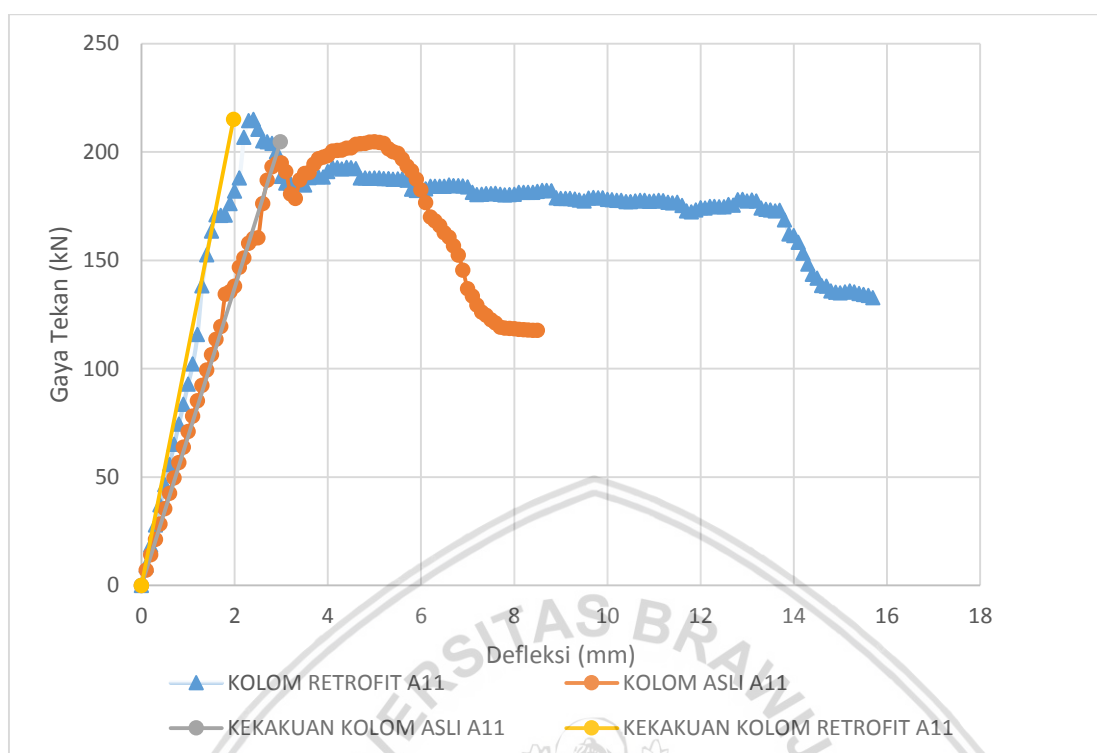
$$k = \frac{P}{\Delta}$$

$$k = \frac{147,9 \text{ kN}}{1,73 \text{ mm}}$$

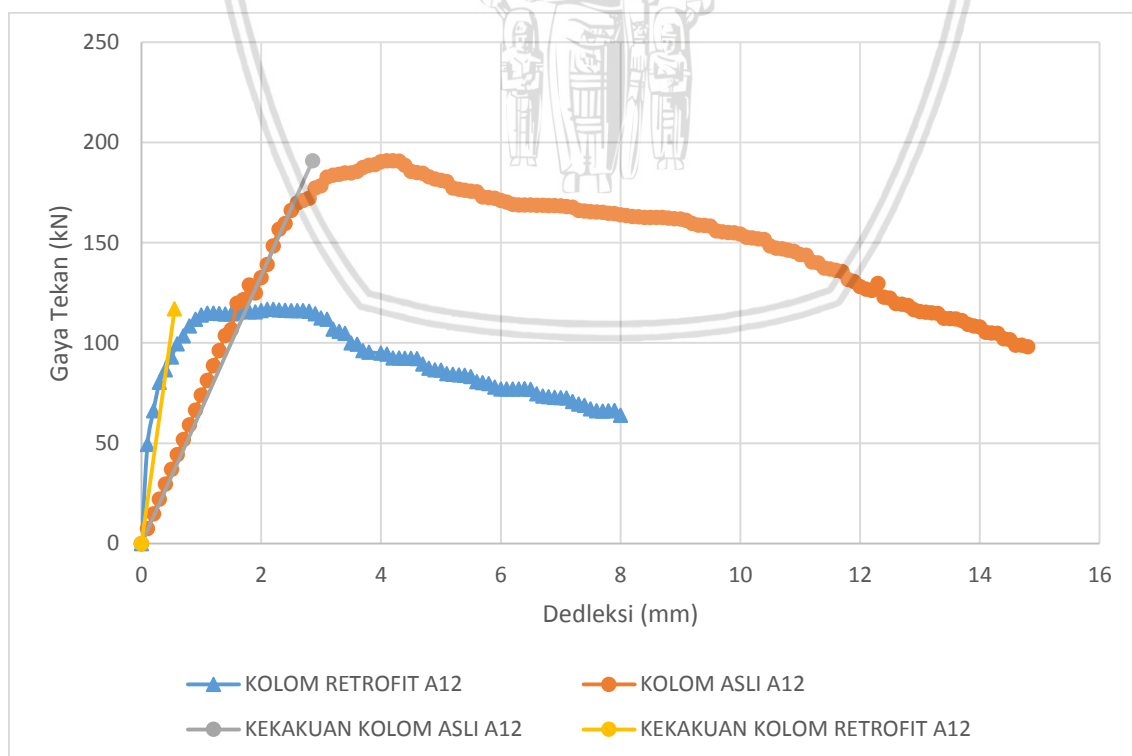
$$k = 85,49 \text{ kN/mm}$$



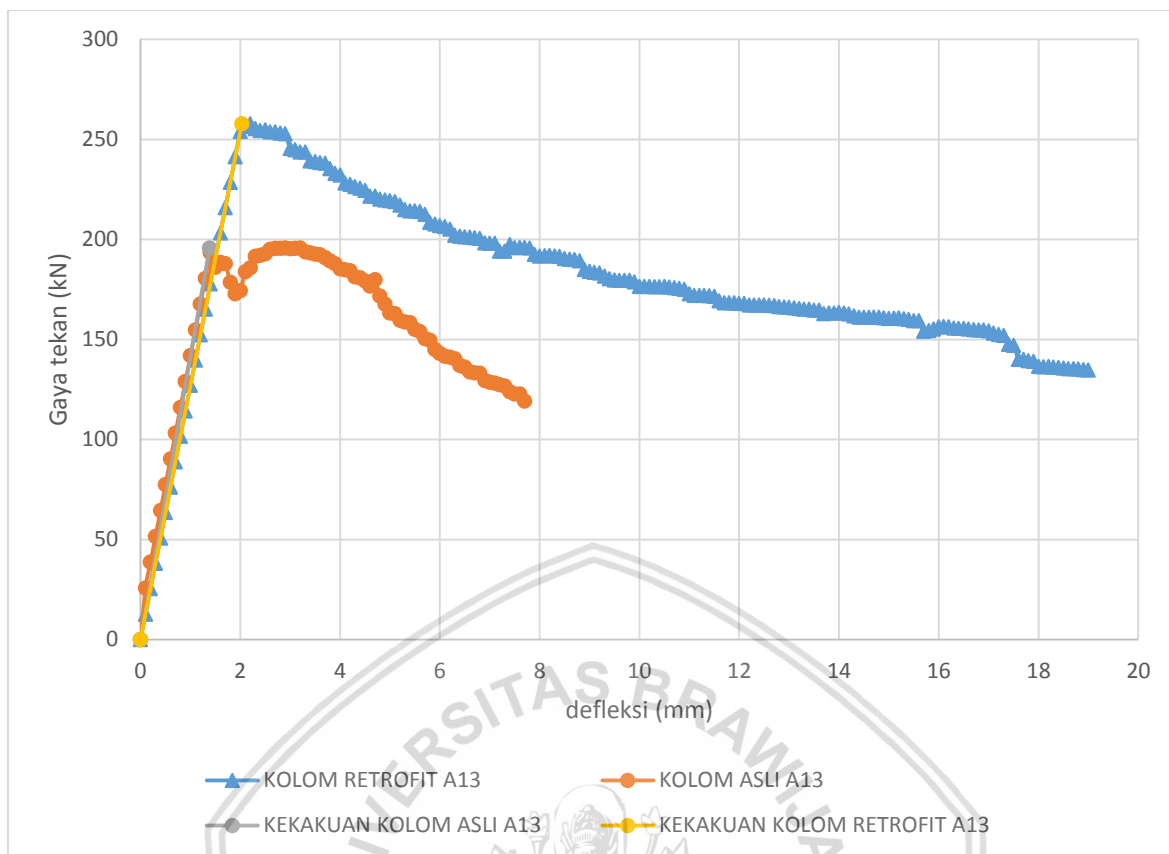
4.6.1.1 Kolom Asli A.1 – Kolom Retrofit A.1



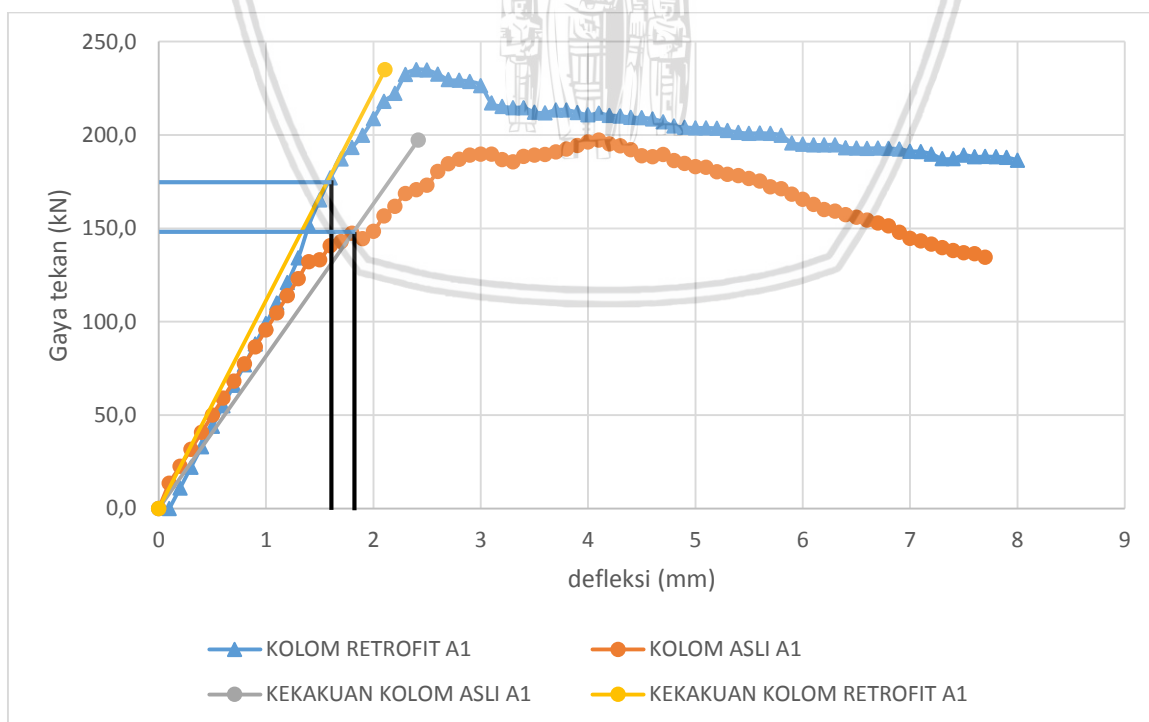
Gambar 4.6. Grafik perbandingan hasil kuat tekan dan defleksi kolom asli A.1.1 dengan kolom retrofit



Gambar 4.7. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1.2 dengan kolom retrofit A.1.2



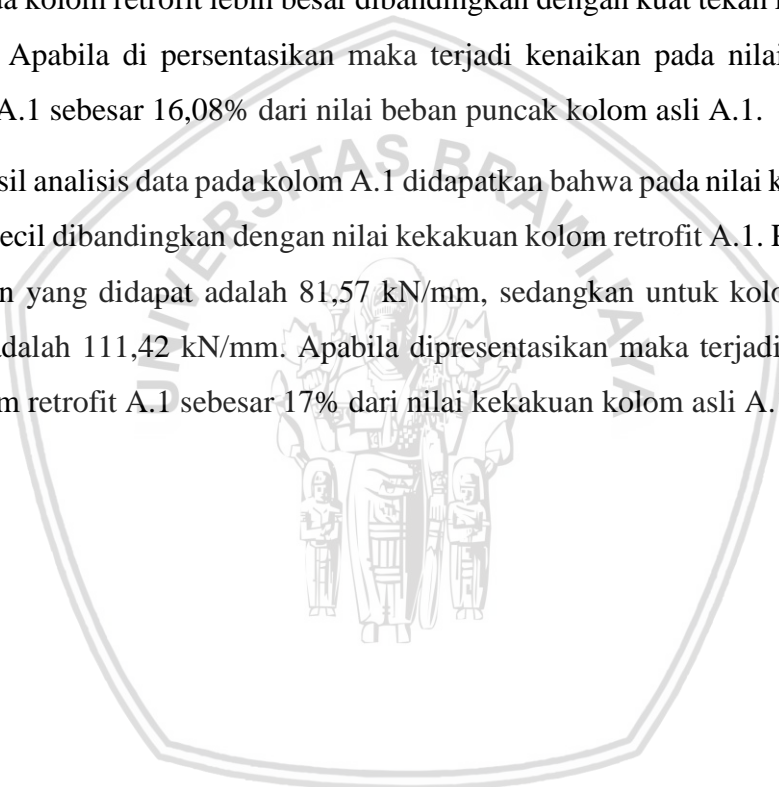
Gambar 4.8. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1.3 dengan kolom retrofit A.1.3



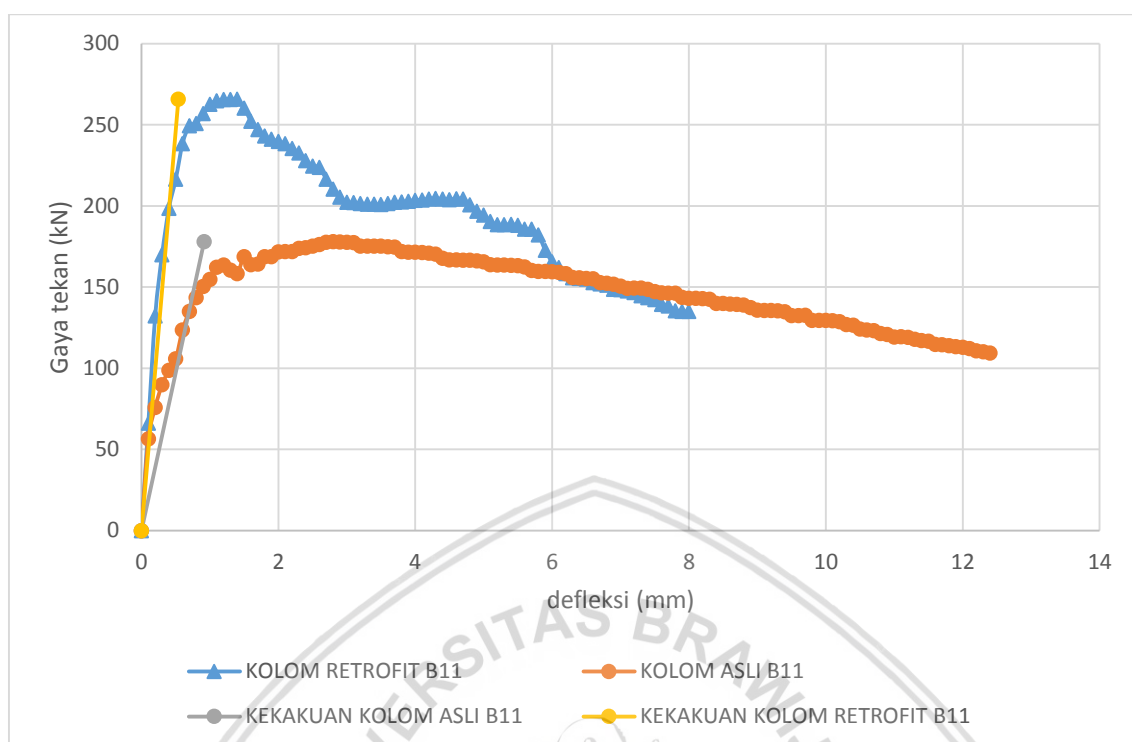
Gambar 4.9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.1 dengan kolom retrofit A.1

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli A.1 dan kolom retrofit A.1 didapatkan dari rata-rata dari tabel L.4.1 dan L.4.2 bukan secara perhitungan matematis dari masing-masing kuat tekan maksimum A.1.1, A.1.2 dan A.1.3 karena kuat tekan maksimum pada masing-masing kolom berada pada defleksi yang berbeda. Pada kolom retrofit A1, rata-rata gaya tekan maksimum diambil hanya dari kolom retrofit A.1.1 dan A.1.3 dikarenakan terjadi kesalahan pada saat pengujian kolom retrofit A.12 yang dimana dial gauge yang digunakan untuk mengukur defleksi kolom retrofit A.1.2 tidak menempel pada plat baja. Pada kolom A.1 bisa ditarik kesimpulan bahwa pada kolom retrofit A.1 terjadi pemulihan awal setelah batas runtuh kolom asli A.1 dengan beban maksimum sebesar 235 kN. Kuat tekan maksimum pada kolom retrofit lebih besar dibandingkan dengan kuat tekan kolom asli yaitu sebesar 197,2. Apabila di persentasikan maka terjadi kenaikan pada nilai beban puncak kolom retrofit A.1 sebesar 16,08% dari nilai beban puncak kolom asli A.1.

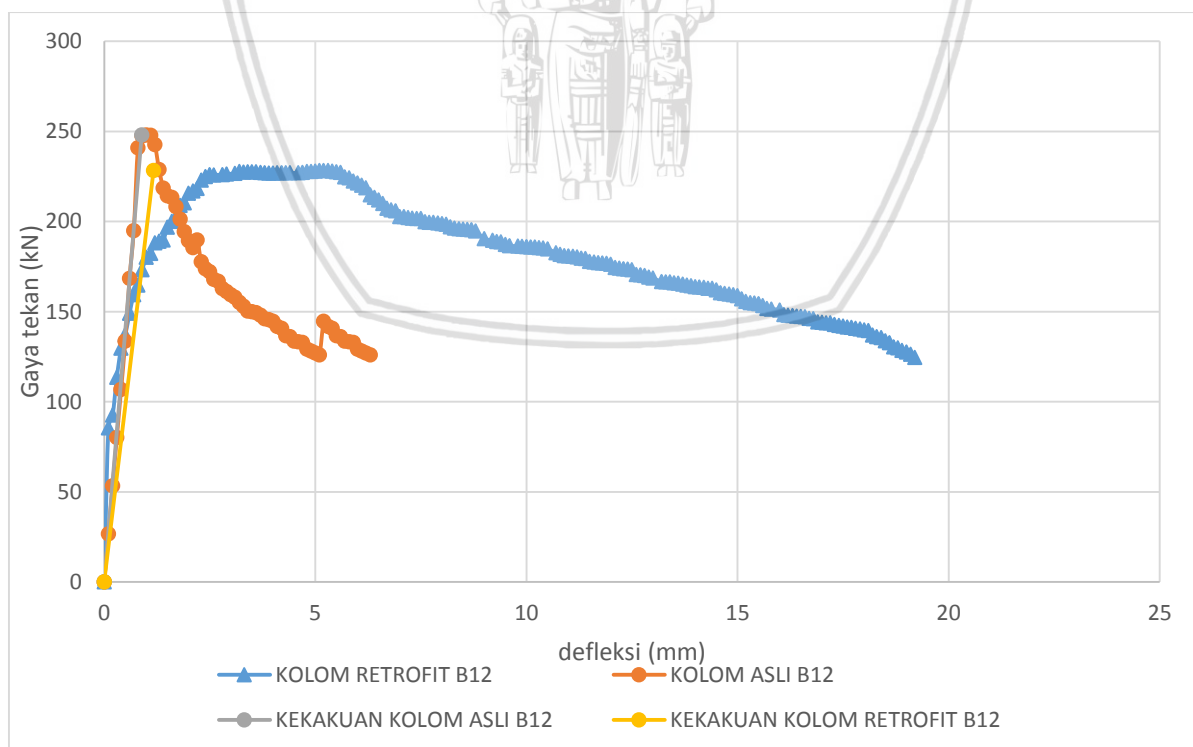
Dari hasil analisis data pada kolom A.1 didapatkan bahwa pada nilai kekakuan kolom asli A.1 lebih kecil dibandingkan dengan nilai kekakuan kolom retrofit A.1. Pada Kolom asli nilai kekakuan yang didapat adalah 81,57 kN/mm, sedangkan untuk kolom retrofit nilai kekakuannya adalah 111,42 kN/mm. Apabila dipresentasikan maka terjadi kenaikan pada kekakuan kolom retrofit A.1 sebesar 17% dari nilai kekakuan kolom asli A.1.



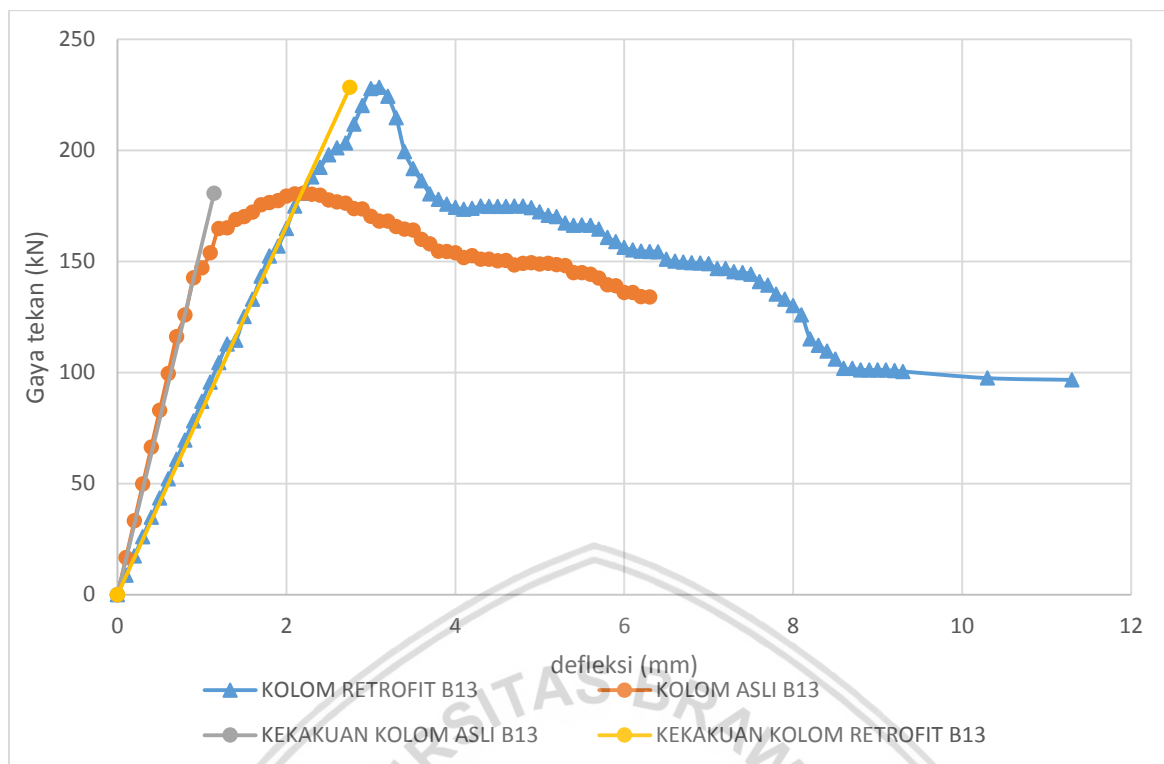
4.6.1.2 Kolom Asli B.1 – Kolom Retrofit B.1



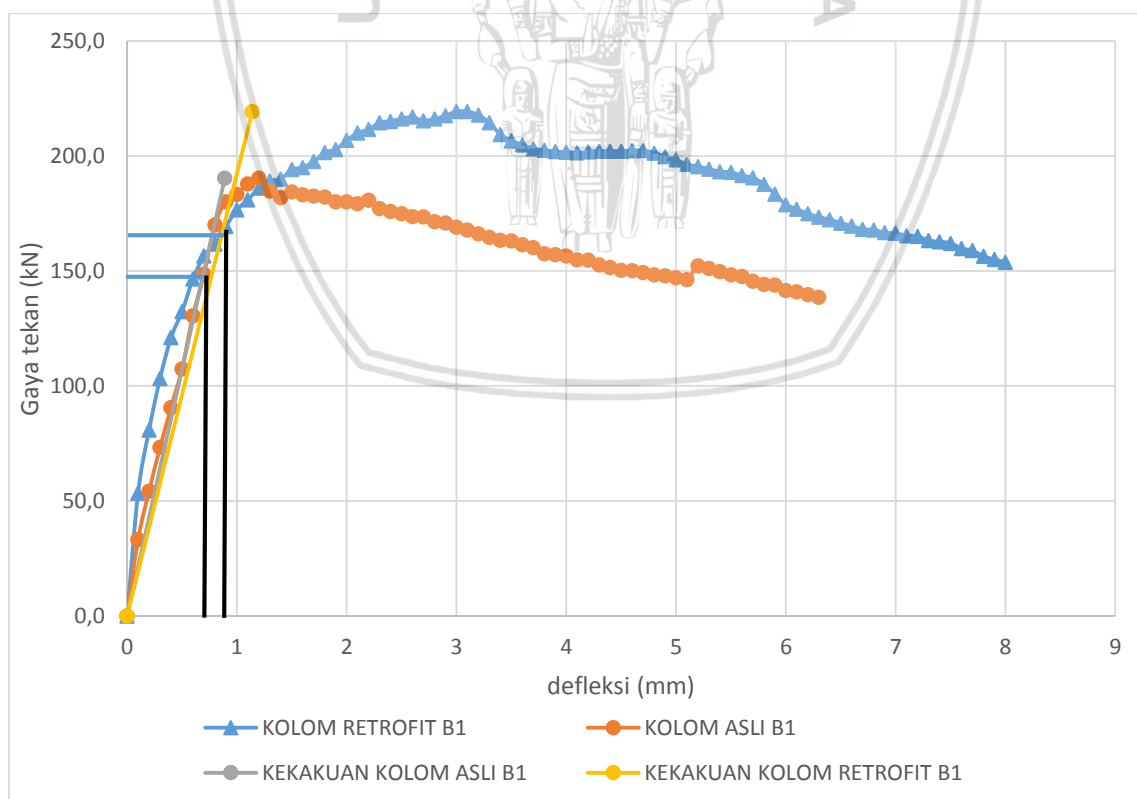
Gambar 4.10. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1.1 dengan kolom retrofit B.1.1



Gambar 4.11. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1.2 dengan kolom retrofit B.1.2.



Gambar 4.12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1.3 dengan kolom retrofit B.1.3

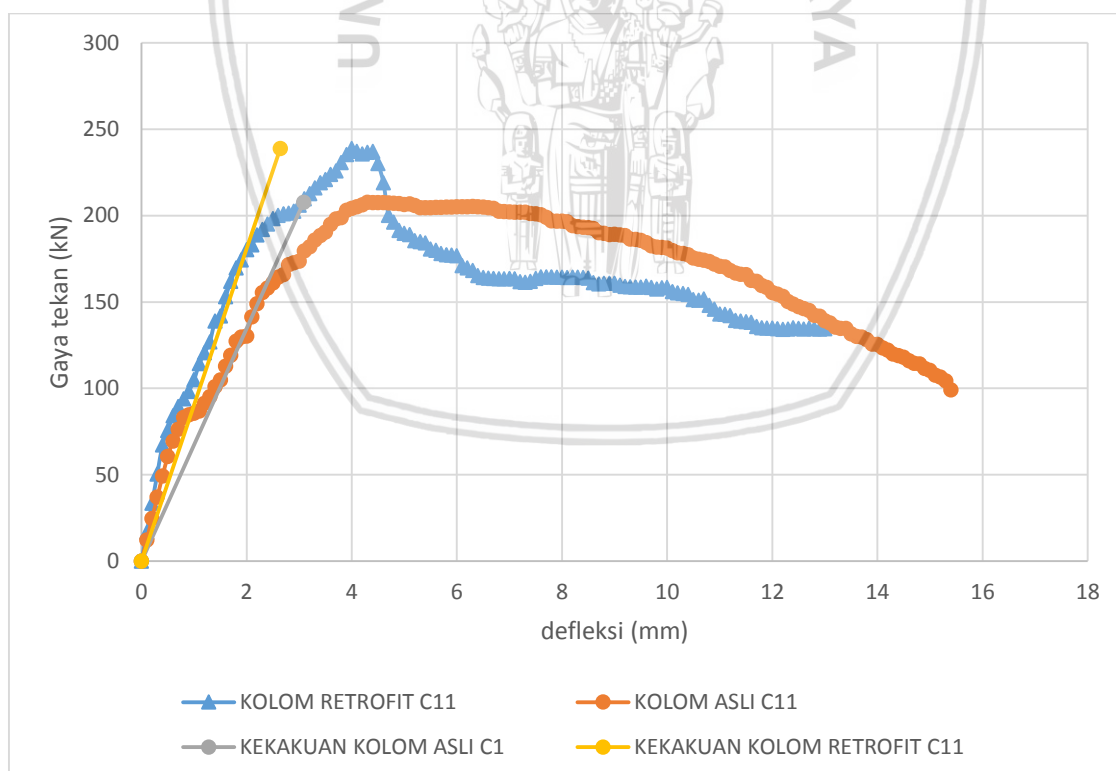


Gambar 4.13. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1

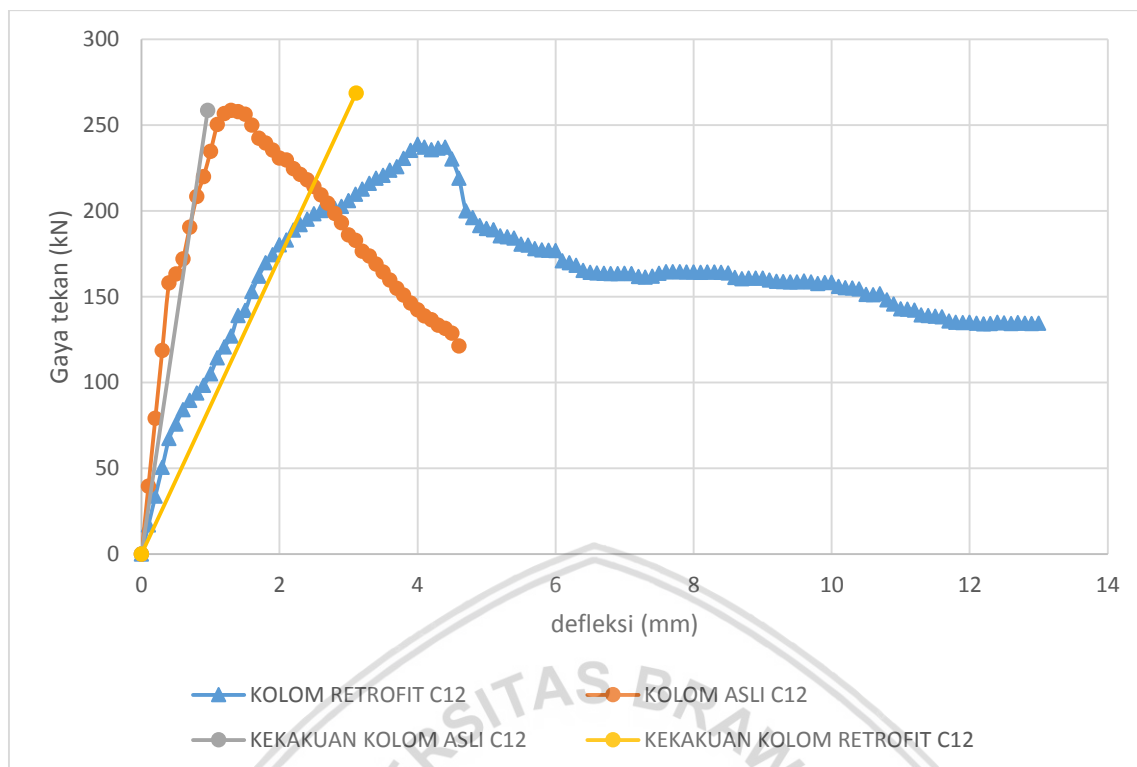
Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli B.1 dan kolom retrofit B.1 didapatkan dari rata-rata dari tabel L.4.3 dan L.4.4 bukan secara perhitungan matematis dari masing-masing kuat tekan maksimum B.1.1, B.1.2 dan B.1.3 karena kuat tekan maksimum pada masing-masing kolom berada pada defleksi yang berbeda. Sehingga bisa ditarik kesimpulan bahwa pada kolom retrofit B.1 terjadi pemulihan awal setelah batas runtuh kolom asli B.1 dengan beban maksimum sebesar 190,4 kN. Kuat tekan maksimum pada kolom retrofit tersebut lebih besar dibandingkan dengan kuat tekan kolom asli yaitu sebesar 219,4 kN. Apabila di persentasikan maka terjadi kenaikan pada nilai beban puncak kolom retrofit B.1 sebesar 13,21% dari nilai beban puncak kolom asli B.1.

Dari hasil analisis data pada kolom B.1 didapatkan bahwa pada nilai kekakuan kolom asli B.1 lebih besar dibandingkan dengan nilai kekakuan kolom retrofit B.1. Pada Kolom asli nilai kekakuan yang didapat adalah 214 kN/mm, sedangkan untuk kolom retrofit nilai kekakuannya adalah 192,34 kN/mm. Apabila dipersentasikan maka terjadi penurunan pada kekakuan kolom retrofit B.1 sebesar 10,12% dari nilai kekakuan kolom asli B.1.

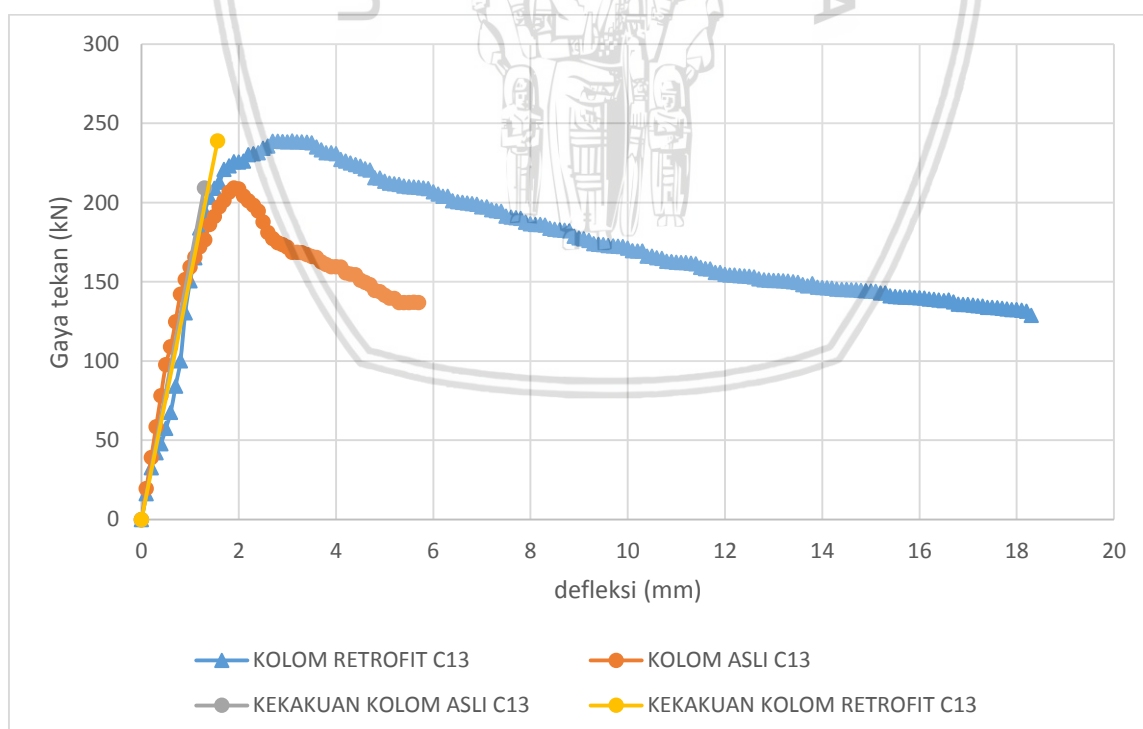
4.6.1.3 Kolom Asli C.1 – Kolom Retrofit C.1



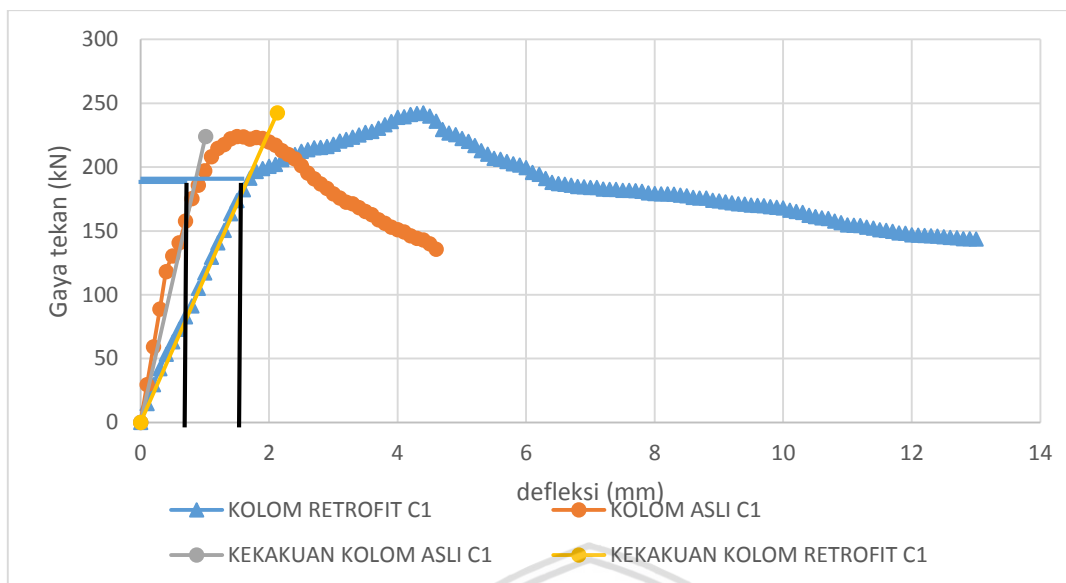
Gambar 4.14. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.1 dengan kolom retrofit C.1.1



Gambar 4.15. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.2 dengan kolom retrofit C.1.2



Gambar 4.16. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1.3 dengan kolom retrofit C.1.3

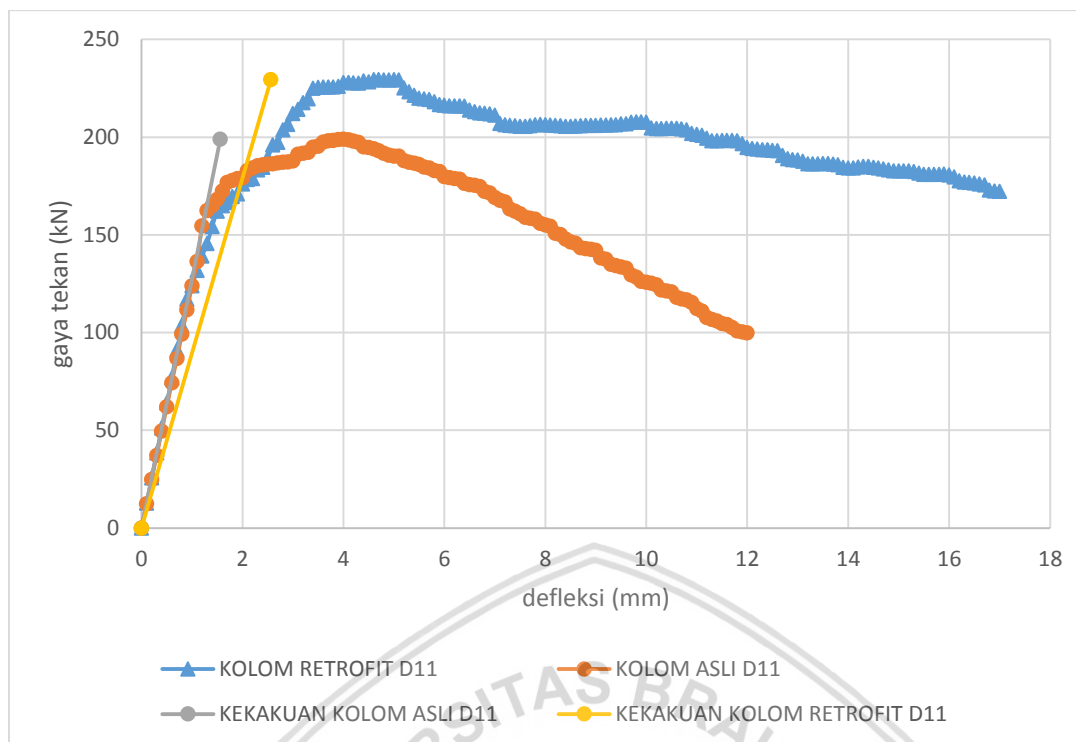


Gambar 4.17. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1

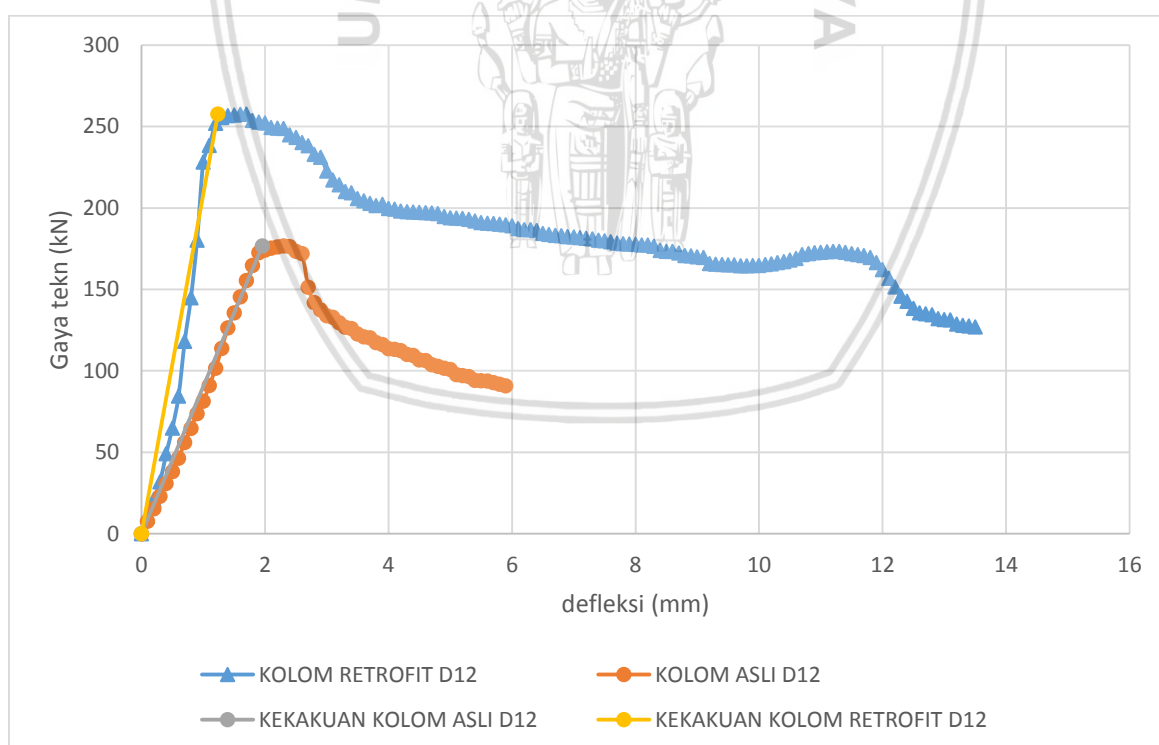
Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli C.1 dan kolom retrofit C.1 didapatkan dari rata-rata dari tabel L.4.5 dan L.4.6 bukan secara perhitungan matematis dari masing-masing kuat tekan maksimum C.1.1, C.1.2 dan C.1.3 karena kuat tekan maksimum pada masing-masing kolom berada pada defleksi yang berbeda. Pada kolom asli C.1.1, rata-rata diambil hanya dari kolom asli C.1.2 dan C.1.3 karena kolom C.1.1 memiliki perilaku yang berbeda dari dua kolom lainnya yaitu kolom C.1.2 dan C.1.3. Hal itu mungkin terjadi dikarenakan tidak meratanya beton dalam kolom pada saat pengecoran sehingga terjadi perilaku yang berbeda dari dua tipe kolom lainnya. Untuk perbandingan kolom asli dan kolom retrofit C.1 bisa ditarik kesimpulan bahwa pada kolom retrofit C.1 terjadi pemulihan awal setelah batas runtuh kolom asli C.1 dengan beban maksimum sebesar 223,9 kN. Kuat tekan maksimum pada kolom retrofit tersebut lebih besar dibandingkan dengan kuat tekan kolom asli yaitu sebesar 242,4 kN. Apabila di persentasikan maka terjadi kenaikan pada nilai beban puncak kolom retrofit C.1 sebesar 7,63% dari nilai beban puncak kolom asli C.1.

Dari hasil analisis data pada kolom C.1 didapatkan bahwa pada nilai kekakuan kolom asli C.1 lebih besar dibandingkan dengan nilai kekakuan kolom retrofit C.1. Pada Kolom asli nilai kekakuan yang didapat adalah 221,57 kN/mm, sedangkan untuk kolom retrofit nilai kekakuannya adalah 113,96 kN/mm. Apabila dipresentasikan maka terjadi penurunan pada kekakuan kolom retrofit C.1 sebesar 48,56% dari nilai kekakuan kolom asli C.1.

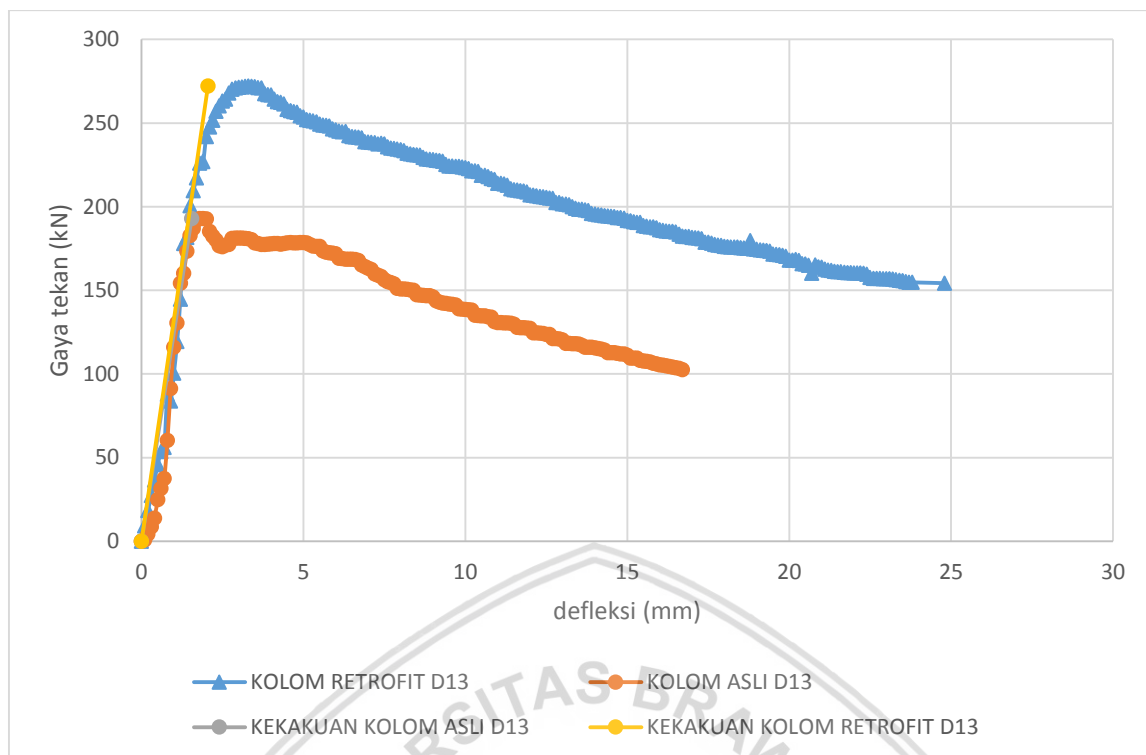
4.6.1.4 Kolom Asli D.1 – Kolom Retrofit D.1



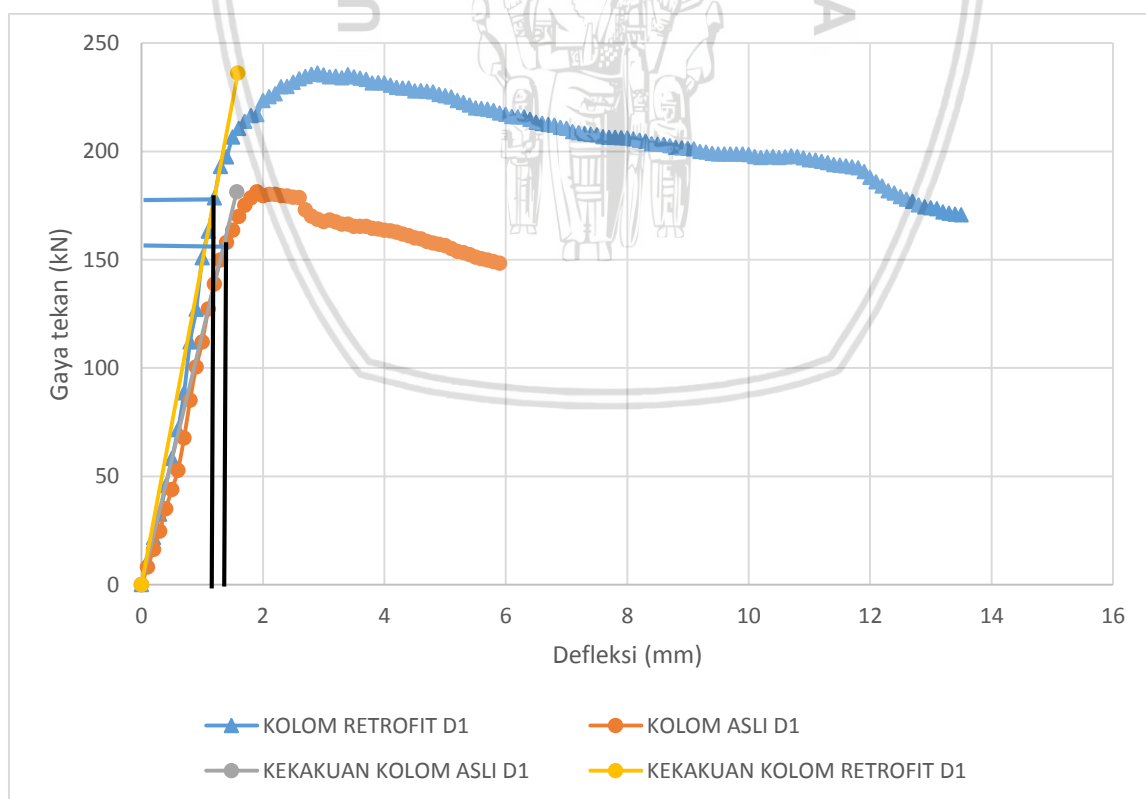
Gambar 4.18. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.1 dengan kolom retrofit D.1.1



Gambar 4.19. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.2 dengan kolom retrofit D.1.2



Gambar 4.20. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1.3 dengan kolom retrofit D.1.3



Gambar 4.21. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1

Data gaya tekan dan defleksi pada kolom asli D.1 dan kolom retrofit D.1 didapatkan dari rata-rata dari tabel L.4.7 dan L.4.8 bukan secara perhitungan matematis dari masing-masing kuat tekan maksimum D.1.1, D.1.2 dan D.1.3 karena kuat tekan maksimum pada masing-masing kolom berada pada defleksi yang berbeda. Sehingga bisa ditarik kesimpulan bahwa pada kolom retrofit D.1 terjadi pemulihan awal setelah batas runtuh kolom asli D.1 dengan beban maksimum sebesar 236,2 kN. Kuat tekan maksimum pada kolom retrofit tersebut lebih besar dibandingkan dengan kuat tekan kolom asli yaitu sebesar 181,4 kN. Apabila di persentasikan maka terjadi kenaikan pada nilai beban puncak kolom retrofit D.1 sebesar 23,2% dari nilai beban puncak kolom asli D.1.

Dari hasil analisis data pada kolom D.1 didapatkan bahwa pada nilai kekakuan kolom asli D.1 lebih kecil dibandingkan dengan nilai kekakuan kolom retrofit D.1. Pada Kolom asli nilai kekakuan yang didapat adalah 115,67 kN/mm, sedangkan untuk kolom retrofit nilai kekakuannya adalah 148,8 kN/mm. Apabila dipresentasikan maka terjadi kenaikan pada kekakuan kolom retrofit D.1 sebesar 22,26% dari nilai kekakuan kolom asli D.1.

4.6.2 Pembahasan Mengenai Tegangan dan Regangan Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

Hubungan mengenai tegangan-regangan antara kolom asli dan kolom retrofit bertujuan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas suatu benda. Semakin besar nilai modulus elastisitas suatu benda, maka benda tersebut akan semakin kaku. Namun sebaliknya, jika modulus elastisitas suatu benda semakin kecil, maka benda tersebut akan semakin elastis.

Nilai modulus elastisitas didapatkan dari rumus :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (kN/mm²)

σ = Tegangan (kN/mm²)

ε = Regangan

Pada analisis data untuk mencari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit, nilai tegangan didapat dari 75 % dari nilai gaya tekan maksimum dibagi dengan luas penampang kolom dan nilai regangan diambil dari nilai defleksi dari 75 % gaya tekan maksimum dibagi dengan panjang mula – mula kolom yakni 300 mm.

Tabel 4.12

Tabel data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		75% Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	
		Asli	Retrofit	Asli	retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A.1.1	0,0142	0,0066	0,0107	0,0050	0,0075	0,0049	1,4310	1,0093
2	A.1.2	0,0133	0,0036	0,0099	0,0014	0,0071	0,0014	1,3920	1,9551
3	A.1.3	0,0136	0,0080	0,0102	0,0060	0,0035	0,0051	2,9463	1,1759
4	B.1.1	0,0124	0,0082	0,0093	0,0062	0,0023	0,0013	4,0545	4,5667
5	B.1.2	0,0172	0,0070	0,0129	0,0053	0,0023	0,0029	5,8157	1,8083
6	B.1.3	0,0125	0,0070	0,0094	0,0053	0,0022	0,0069	3,2921	0,7685
7	C.1.1	0,0144	0,0074	0,0108	0,0055	0,0029	0,0066	1,4031	0,8375
8	C.1.2	0,0180	0,0083	0,0135	0,0062	0,0077	0,0078	5,6201	0,8005
9	C.1.3	0,0145	0,0074	0,0109	0,0055	0,0024	0,0039	3,3739	1,4127
10	D.1.1	0,0138	0,0071	0,0104	0,0053	0,0032	0,0064	2,6558	0,8290
11	D.1.2	0,0123	0,0080	0,0092	0,0060	0,0039	0,0031	1,8831	1,9308
12	D.1.3	0,0134	0,0084	0,0100	0,0063	0,0049	0,0051	2,5991	1,2281

Tabel 4.13

Tabel data rata –rata tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		75% Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	
		Asli	Retrofit	Asli	retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A1	0,0137	0,0073	0,0103	0,0054	0,0060	0,0053	1,699	1,032
2	B1	0,0132	0,0068	0,0099	0,0051	0,0022	0,0029	4,458	1,781
3	C1	0,0155	0,0075	0,0117	0,0056	0,0025	0,0053	4,616	1,055
4	D1	0,0126	0,0073	0,0094	0,0055	0,0039	0,0040	2,410	1,378

Contoh perhitungan modulus elastisitas kolom (E) (Kolom retrofit A.1) :

Dik :

$$\sigma_{\max} = 0,00137$$

$$75\% \sigma_{\max} = 75\% \times 0,0137 = 0,0103 \text{ kN/mm}^2$$

$$\varepsilon = 0,006$$

Dit : E ?

Jawab :

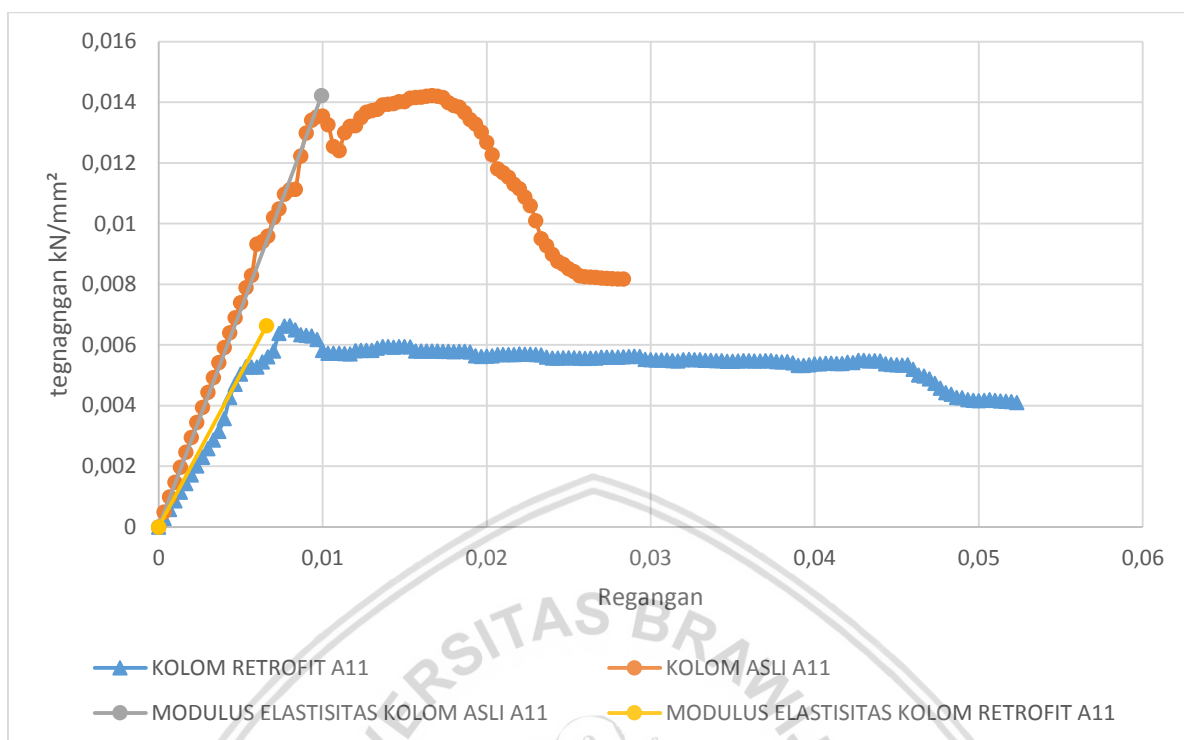
$$E = \frac{75\% \sigma_{\max}}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{0,0103 \text{ kN/mm}^2}{0,006}$$

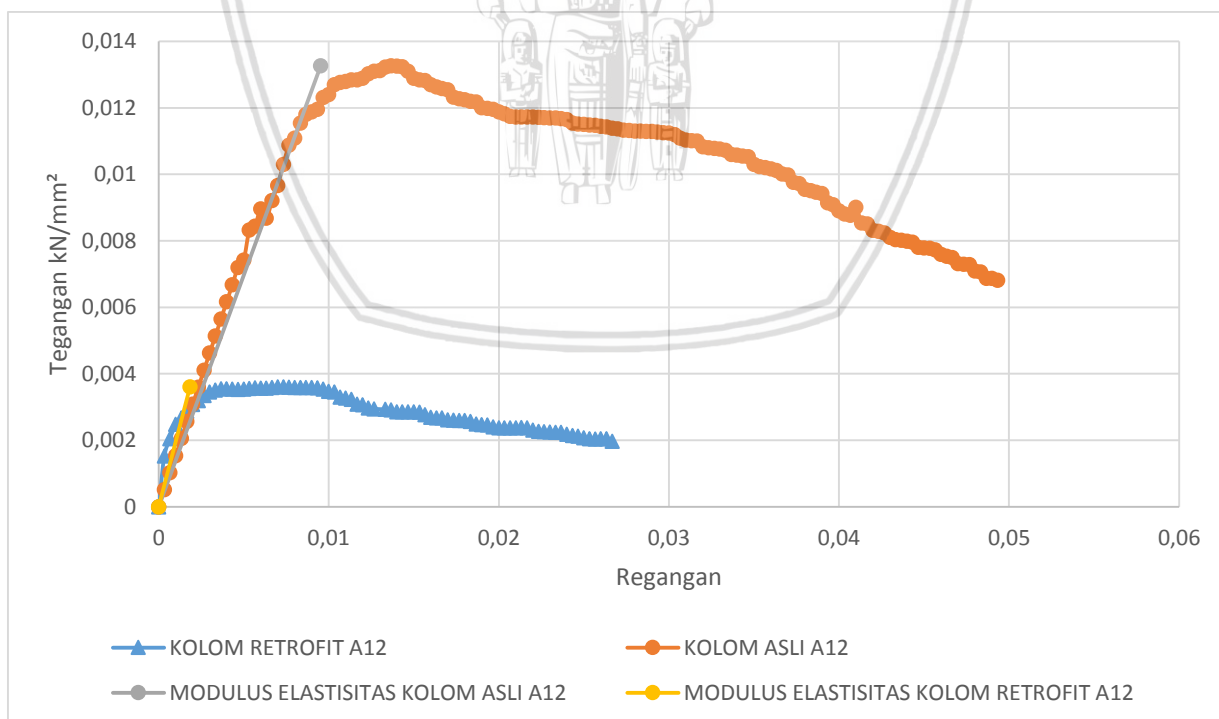
$$E = 1,69 \text{ kN/mm}$$



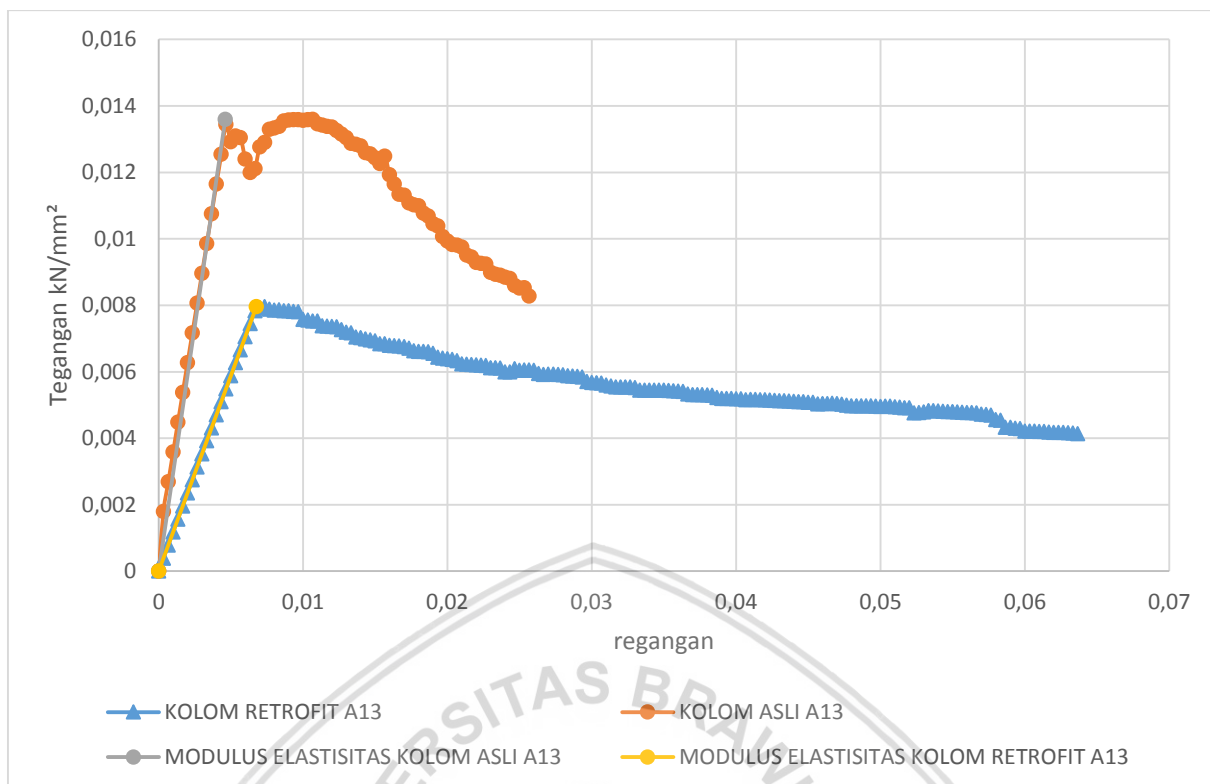
4.6.2.1 Kolom Asli A.1 – Kolom Retrofit A.1



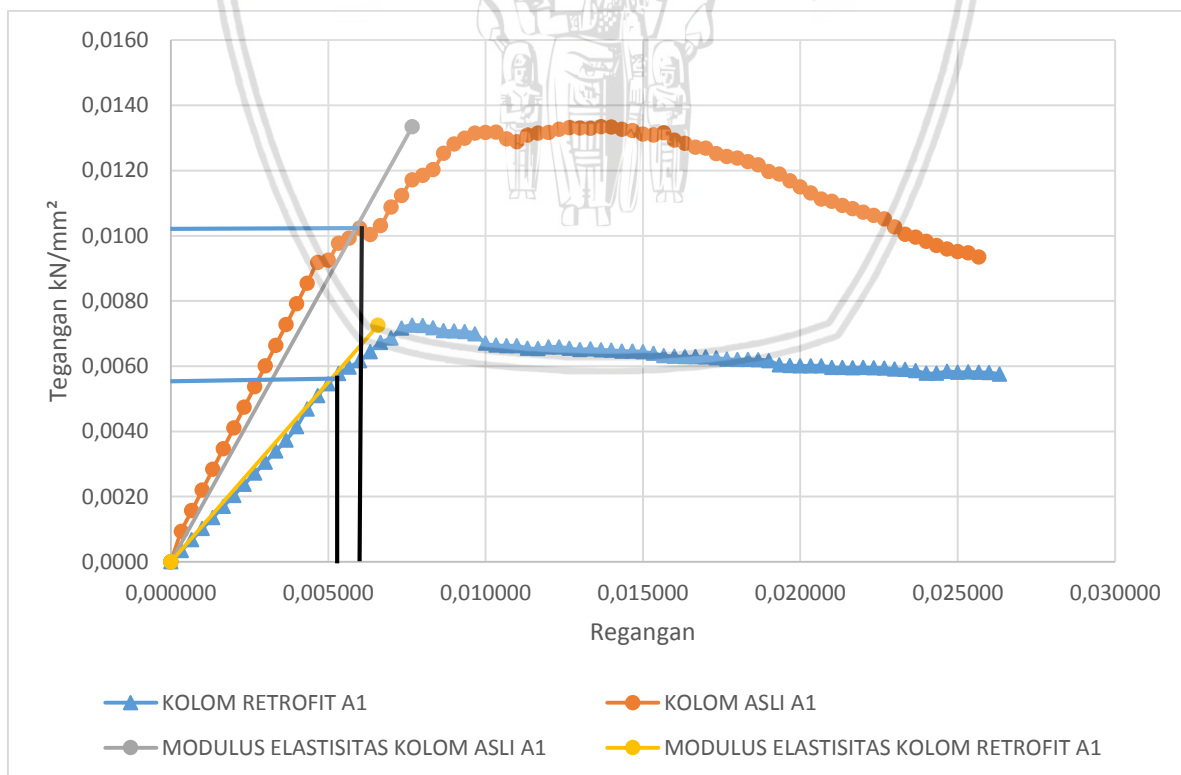
Gambar 4.22. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1.1 dengan kolom retrofit A.1.1



Gambar 4.23. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1.2 dengan kolom retrofit A.1.2



Gambar 4.24. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1.3 dengan kolom retrofit A.1.3

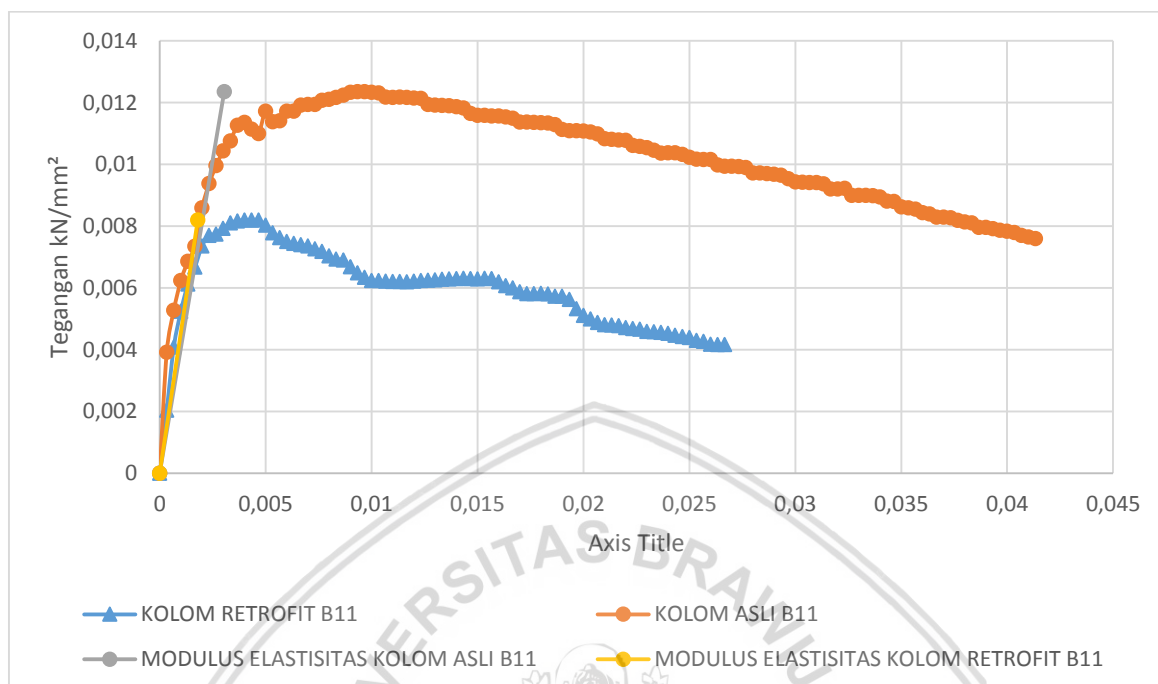


Gambar 4.25. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli A.1 dengan kolom retrofit A.1

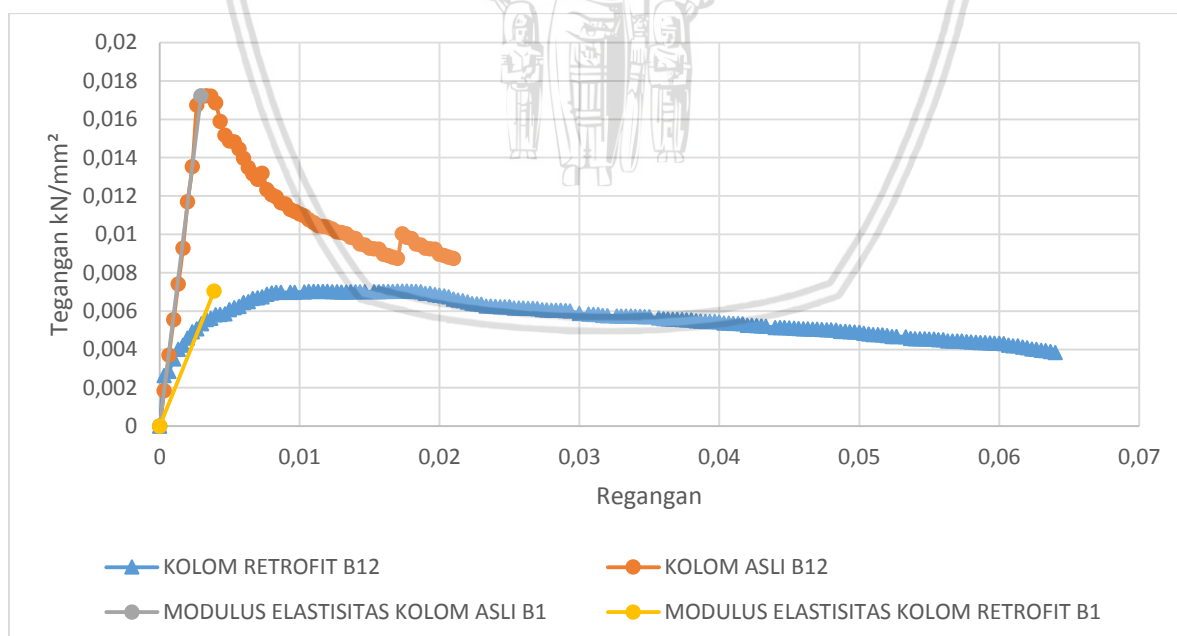
Data modulus elastisitas pada kolom asli A.1 dan kolom retrofit A.1 didapatkan dari rata-rata dari tabel L.4.9 dan L.4.10 bukan secara perhitungan matematis dari masing-masing tegangan maksimum A.1.1, A.1.2 dan A.1.3 karena tegangan maksimum pada masing-masing kolom berada pada regangan yang berbeda. Pada kolom retrofit A1, rata-rata tegangan maksimum diambil hanya dari kolom retrofit A.1.1 dan A.1.3 dikarenakan terjadi kesalahan pada saat pengujian kolom retrofit A.1.2 yang dimana dial gauge yang digunakan untuk mengukur defleksi kolom retrofit A.1.2 tidak menempel pada plat baja Sehingga nilai Modulus elastisitas pada kolom asli A.1 adalah $1,69 \text{ kN/mm}^2$, sedangkan nilai modulus elastisitas untuk kolom retrofit A.1 adalah $1,03 \text{ kN/mm}^2$. Apabila dipersentasikan maka terjadi penurunan modulus elastisitas pada kolom retrofit A.1 sebesar 39,15% dari nilai elastisitas kolom asli A.1



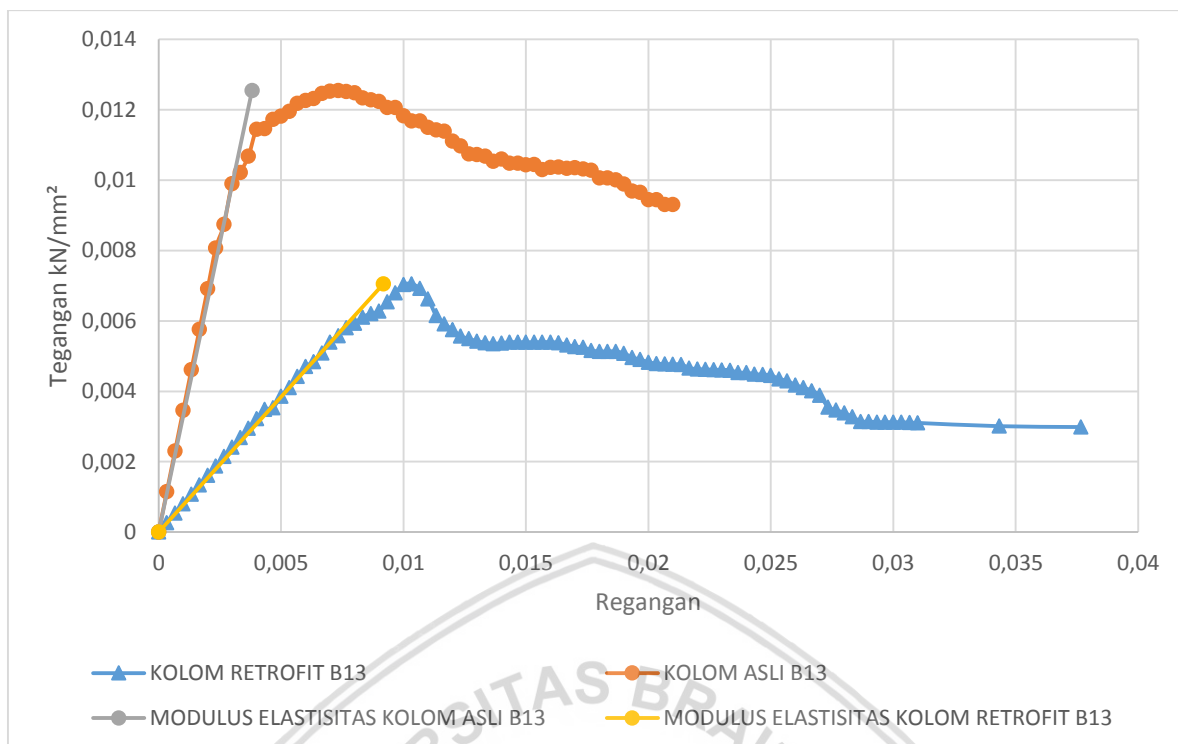
4.6.2.2 Kolom Asli B.1 – Kolom Retrofit B.1



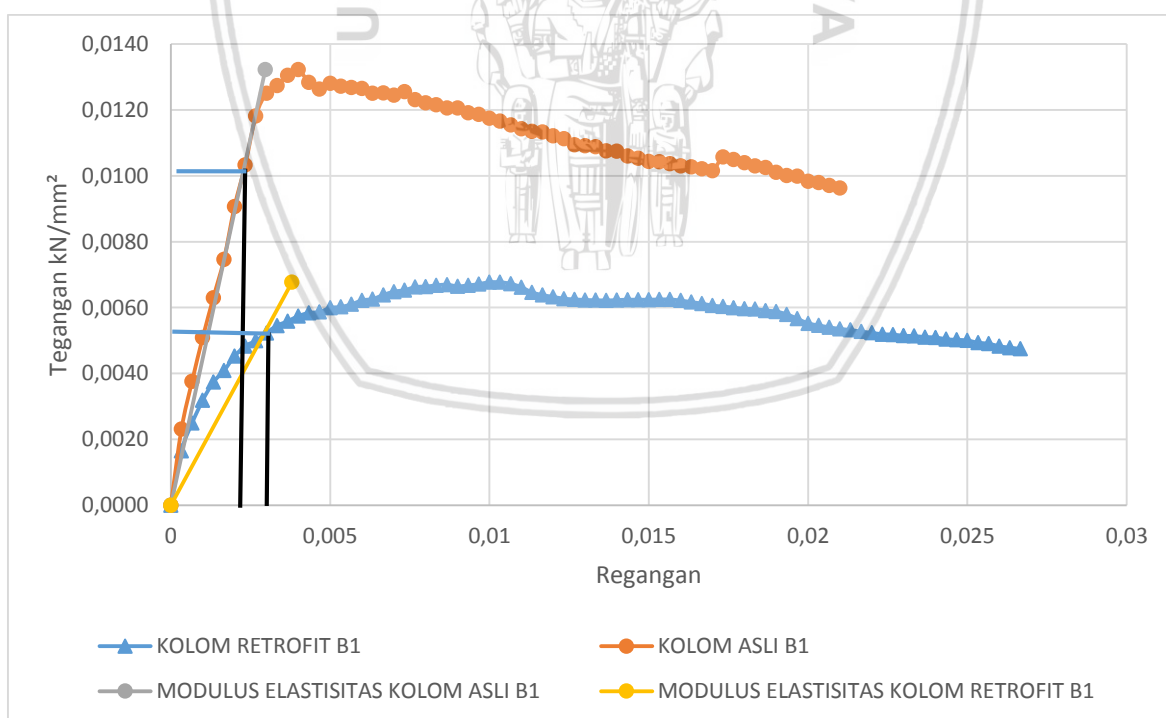
Gambar 4.26. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1.1 dengan kolom retrofit B.1.1



Gambar 4.27. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1.2 dengan kolom retrofit B.1.2



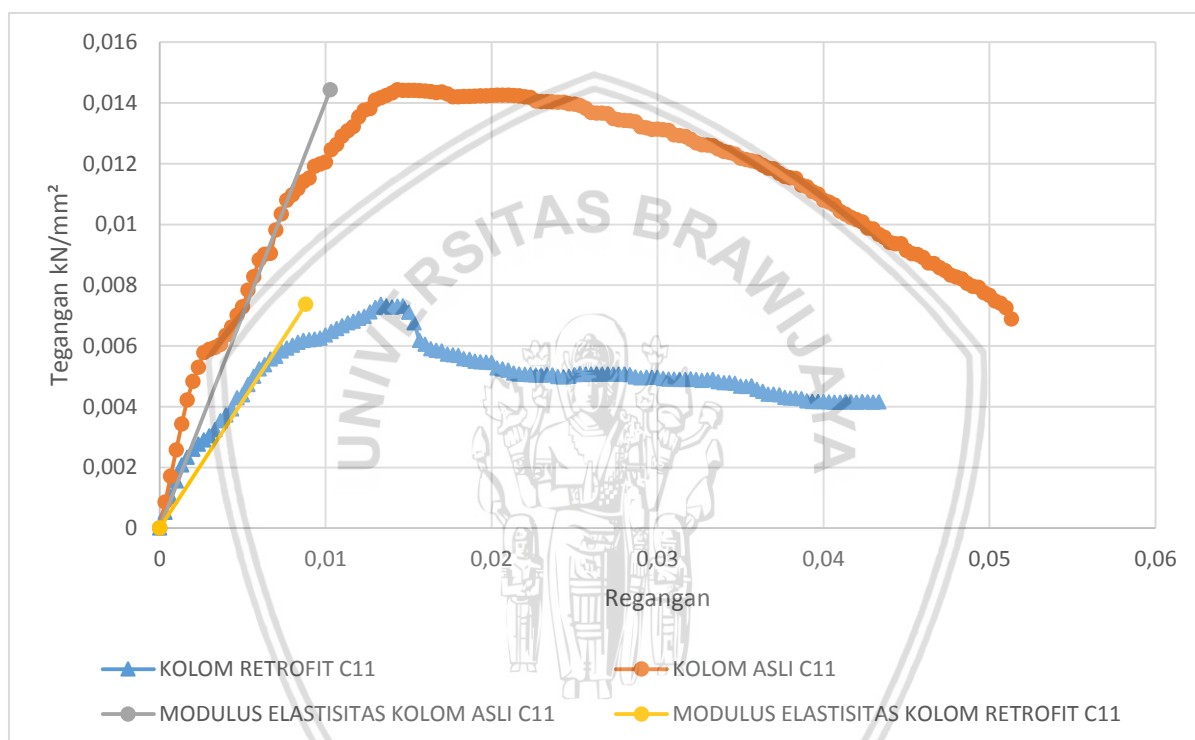
Gambar 4.28. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1.3 dengan kolom retrofit B.1.3



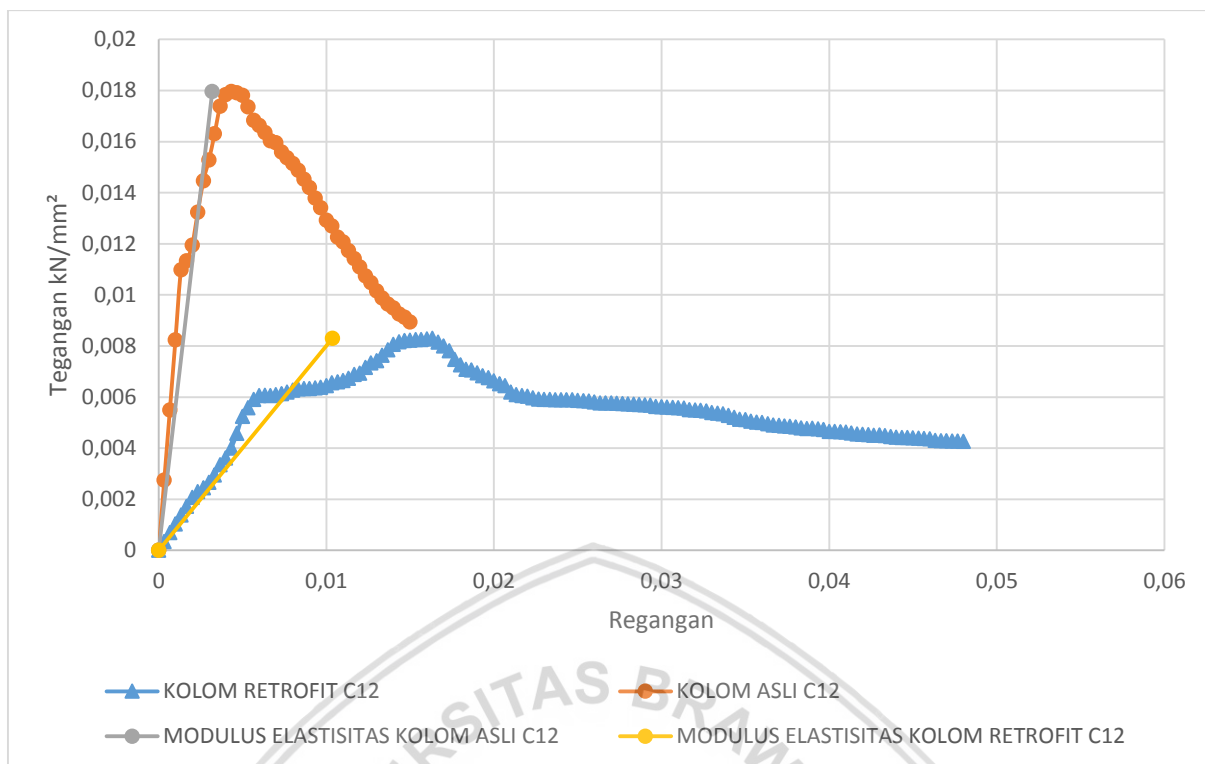
Gambar 4.29. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1

Data modulus elastisitas pada kolom asli B.1 dan kolom retrofit B.1 didapatkan dari rata-rata dari tabel L.4.11 dan L.4.12 bukan secara perhitungan matematis dari masing-masing tegangan maksimum B.1.1, B.1.2 dan B.1.3 karena tegangan maksimum pada masing-masing kolom berada pada regangan yang berbeda. Nilai Modulus elastisitas pada kolom asli B.1 adalah 4,45 kN/mm², sedangkan nilai modulus elastisitas untuk kolom retrofit B.1 adalah 1,78 kN/mm². Apabila dipersentasikan maka terjadi penurunan modulus elastisitas pada kolom retrofit B.1 sebesar 60% dari nilai elastisitas kolom asli B.1.

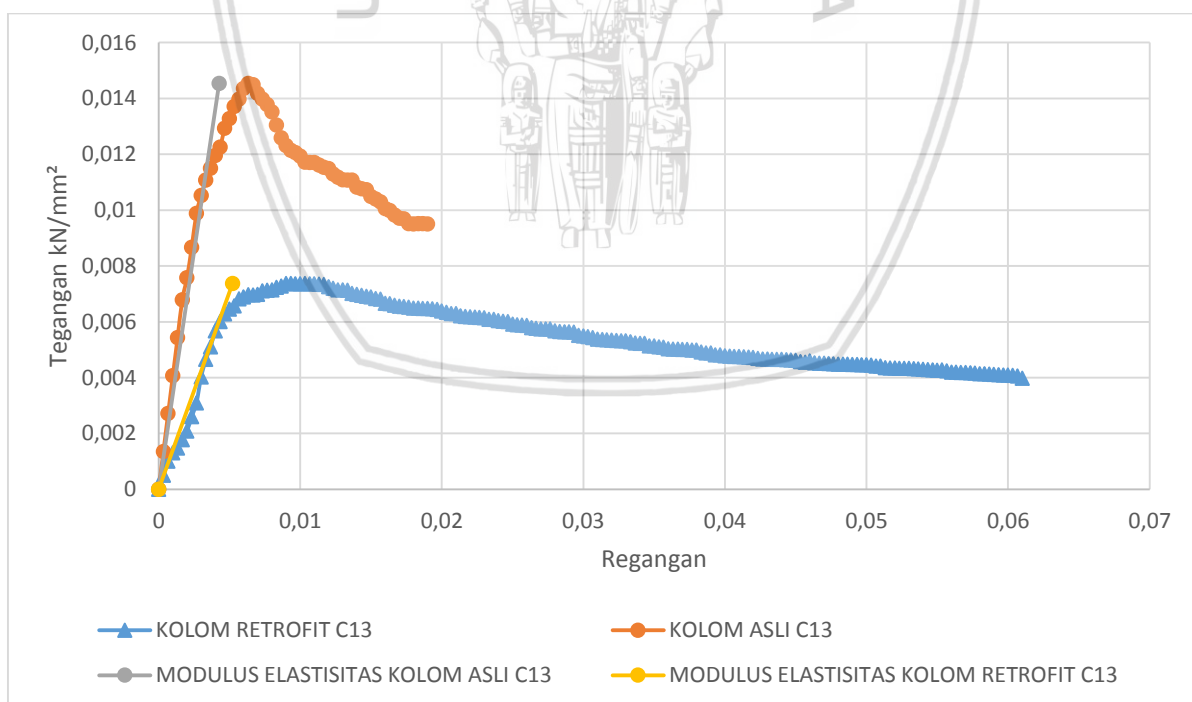
4.6.2.3 Kolom Asli C.1 – Kolom Retrofit C.1



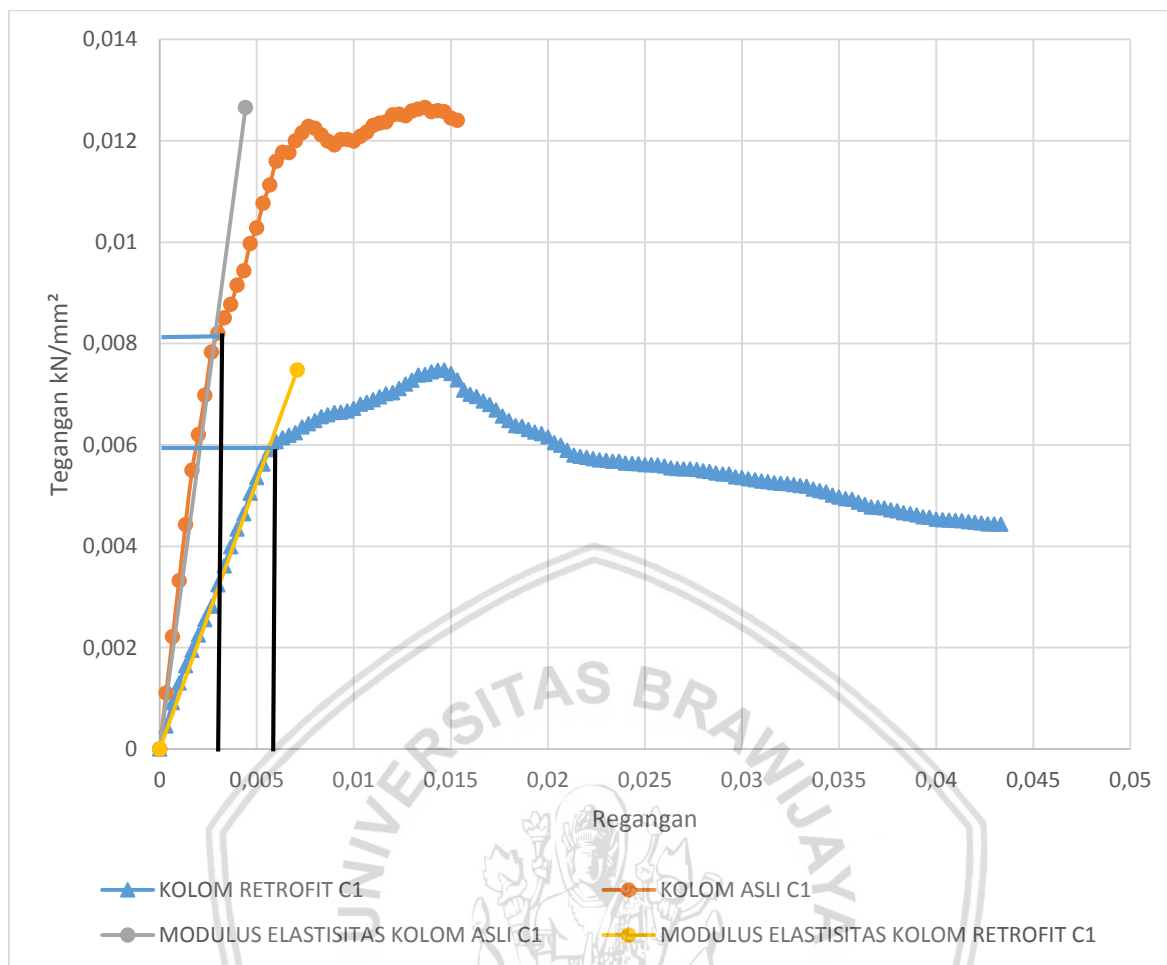
Gambar 4.30. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.1 dengan kolom retrofit C.1.1



Gambar 4.31. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.2 dengan kolom retrofit C.1.2



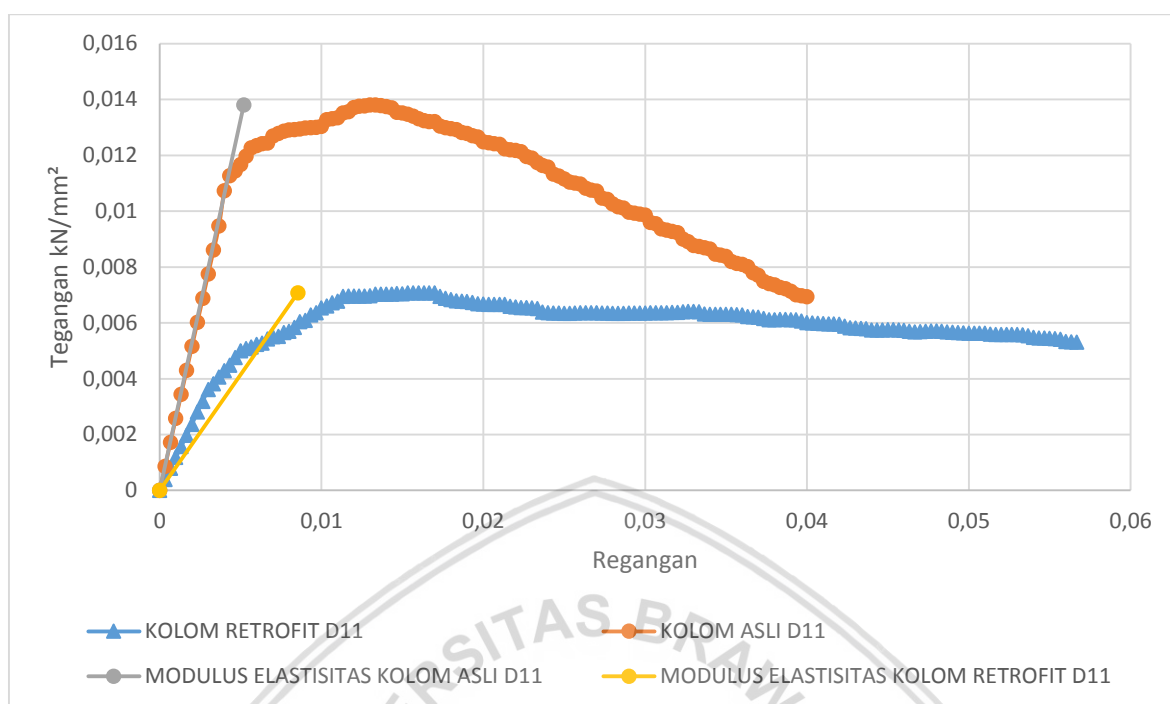
Gambar 4.33. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1.3 dengan kolom retrofit C.1.3



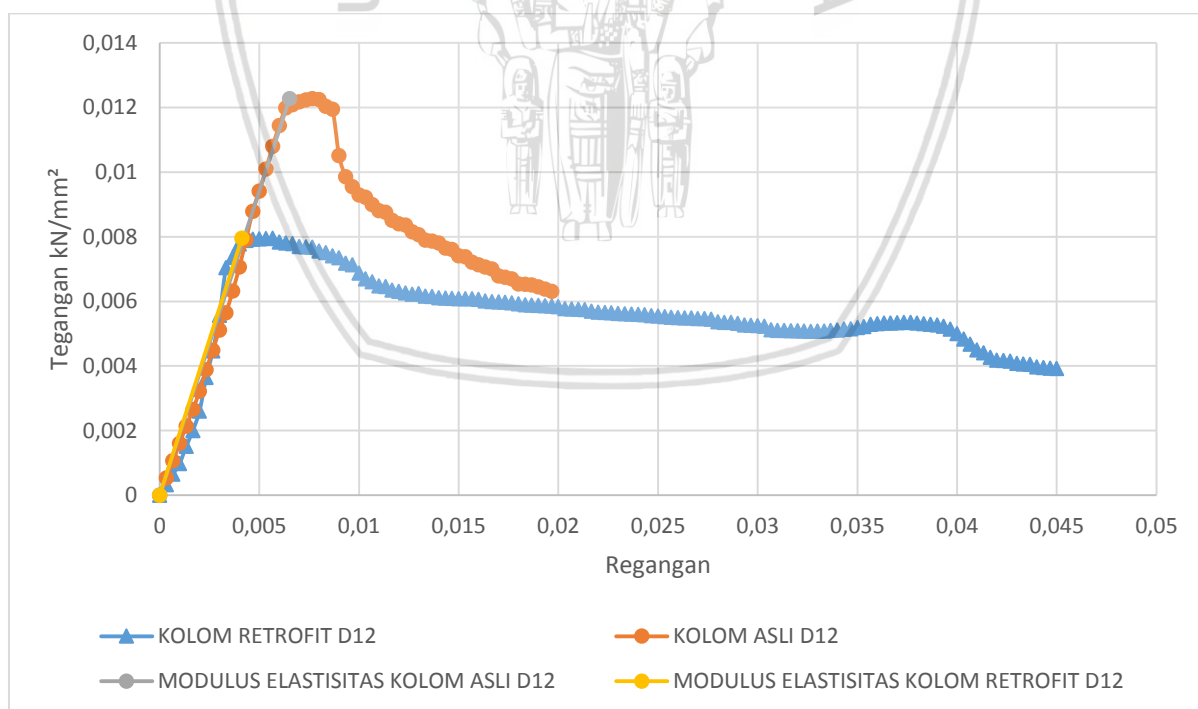
Gambar 4.34. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1

Data modulus elastisitas pada kolom asli C.1 dan kolom retrofit C.1 didapatkan dari rata-rata dari tabel L.4.13 dan L.4.14 bukan secara perhitungan matematis dari masing-masing tegangan maksimum C.1.1, C.1.2 dan C.1.3 karena tegangan maksimum pada masing-masing kolom berada pada regangan yang berbeda. Pada kolom asli C.1, rata-rata diambil hanya dari kolom asli C.1.2 dan C.1.3 karena kolom C.1.1 memiliki perilaku yang berbeda dari dua kolom lainnya yaitu kolom C.1.2 dan C.1.3. Hal itu mungkin terjadi dikarenakan tidak meratanya beton dalam kolom pada saat pengecoran sehingga terjadi perilaku yang berbeda dari dua tipe kolom lainnya Nilai modulus elastisitas pada kolom asli C.1 adalah $4,46 \text{ kN/mm}^2$, sedangkan nilai modulus elastisitas untuk kolom retrofit C.1 adalah $1,055 \text{ kN/mm}^2$. Apabila dipersentasikan maka terjadi penurunan modulus elastisitas pada kolom retrofit C.1 sebesar 76,34% dari nilai elastisitas kolom asli C.1

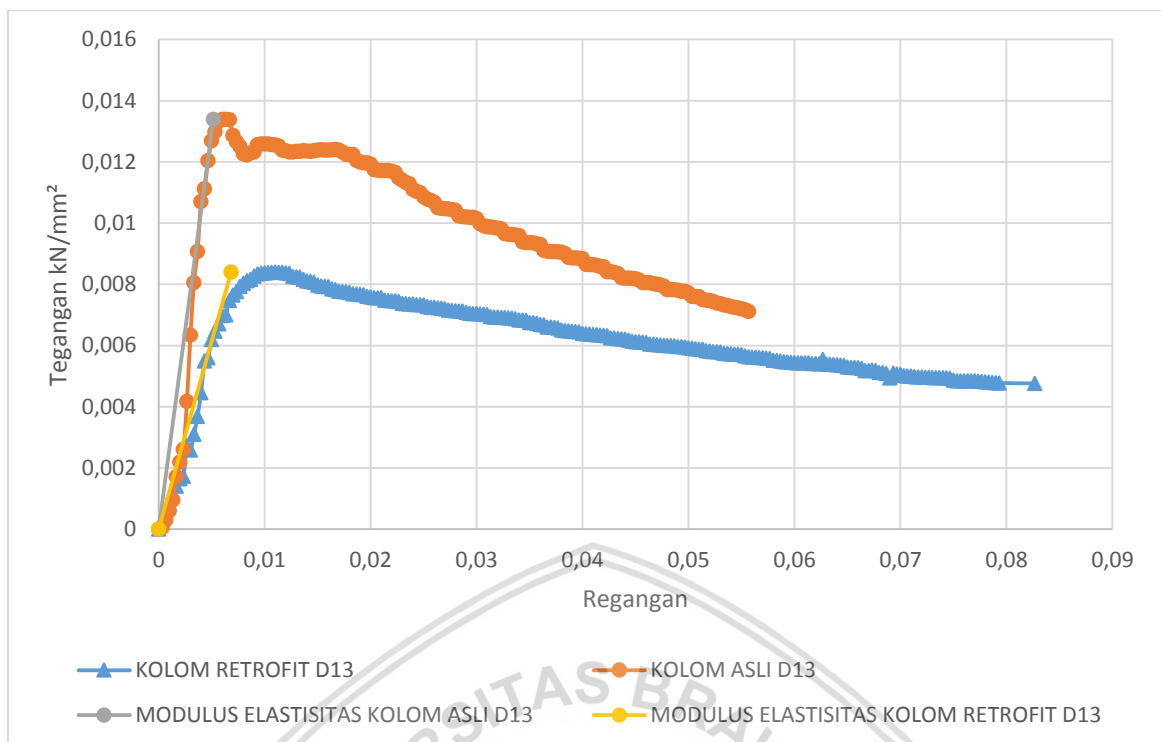
4.6.2.4 Kolom Asli D.1 – Kolom Retrofit D.1



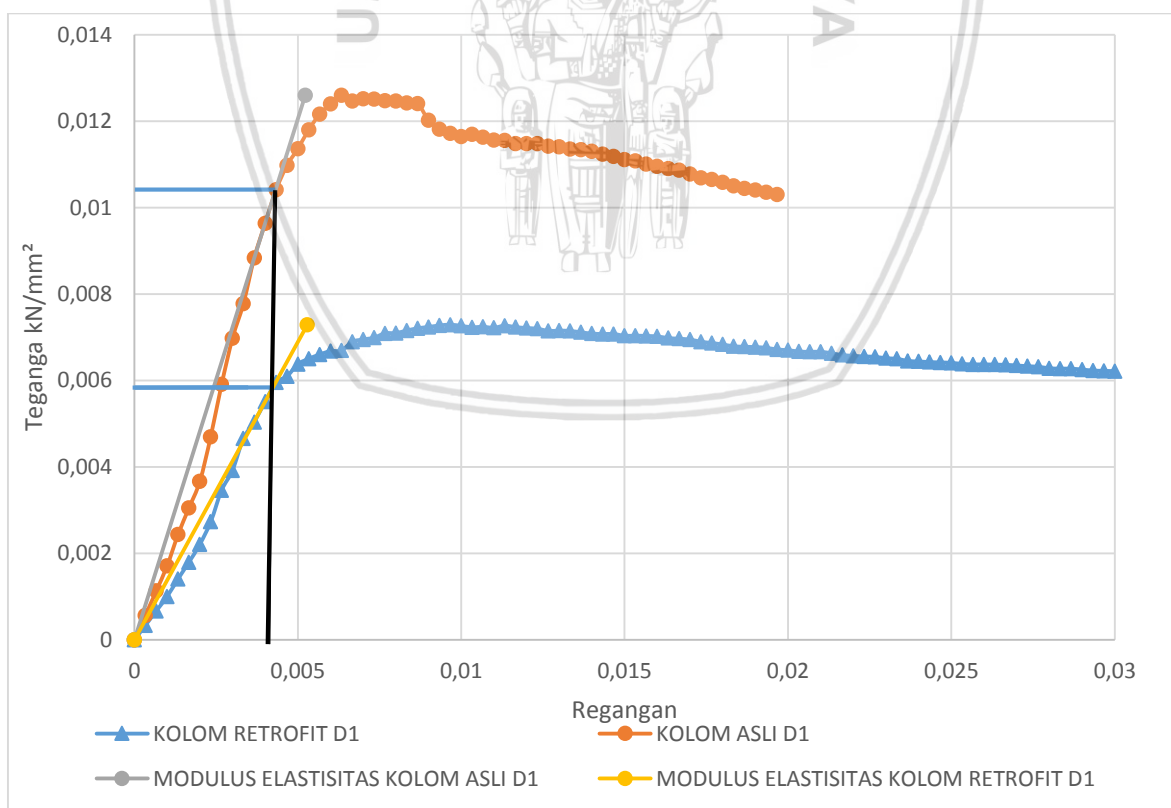
Gambar 4.34. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.1 dengan kolom retrofit D.1.1



Gambar 4.35. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.2 dengan kolom retrofit D.1.2



Gambar 4.36. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1.3 dengan kolom retrofit D.1.3



Gambar 4.37. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1

Data modulus elastisitas pada kolom asli D.1 dan kolom retrofit D.1 didapatkan dari rata-rata dari tabel L.4.15 dan L.4.16 bukan secara perhitungan matematis dari masing-masing tegangan maksimum D.1.1, D.1.2 dan D.1.3 karena tegangan maksimum pada masing-masing kolom berada pada regangan yang berbeda. Nilai Modulus elastisitas pada kolom asli D.1 adalah 2,4 kN/mm², sedangkan nilai modulus elastisitas untuk kolom retrofit D.1 adalah 1,37 kN/mm². Apabila dipersentasikan maka terjadi penurunan modulus elastisitas pada kolom retrofit D.1 sebesar 42,91% dari nilai elastisitas kolom asli D.1.

4.6.3 Pembahasan Mengenai Daktilitas Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

Pembahasan mengenai daktilitas pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai daktilitas yang terjadi pada kolom asli dan kolom retrofit. Daktilitas adalah sifat dari suatu bahan yang memungkinkan bahan tersebut berdeformasi pada saat kondisi inelastic tanpa mengalami kerusakan. Hal ini diperlukan agar ketika bagian yang terkena beban besar secara tiba-tiba akan memberikan tanda-tanda kerusakan.

Nilai daktilitas didapatkan dari rumus :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta y}{\Delta u}$$

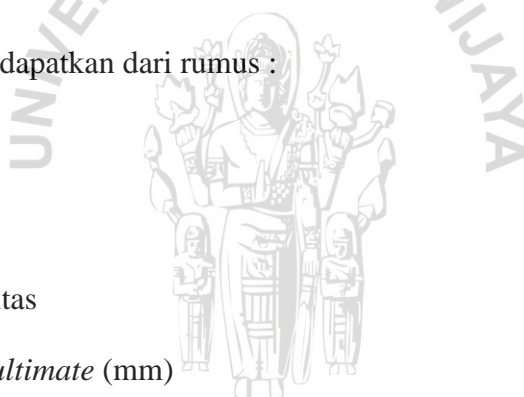
Dimana :

μ_{Δ} = Nilai daktilitas

Δu = Deformasi *ultimate* (mm)

Δy = Deformasi leleh (mm)

Pada analisis data untuk mencari nilai daktilitas kolom asli dan kolom retrofit, penentuan nilai deformasi ultimate didapatkan dari nilai daktilitas dengan penurunan kapasitas beban aksial maksimum yang sama antara kolom asli dan kolom retrofit.



Tabel 4.14

Tabel daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit

Kolom		Gaya Tekan Max	Δy	Beban Runtuh	% Beban Keruntuhan	Beban Runtuh ekuivalen	Δu	Daktilitas	Peningkatan Daktilitas
		kN	mm	kN		kN	mm		%
A1	Asli	197,2	2,42	134,57	79,36	156,50	6,90	2,85	32,89
	Retrofit	235	2,11	186,50		186,50	8	3,79	
B1	Asli	190,4	0,89	138,63	72,81	138,63	6,3	7,08	-4,66
	Retrofit	219,37	1,14	153,80		159,72	7,70	6,75	
C1	Asli	223,85	1,01	135,50	60,53	135,50	4,6	4,55	25,99
	Retrofit	242,37	2,13	143,67		146,71	12,20	5,74	
D1	Asli	181,4	1,57	148,37	81,79	148,37	5,9	3,76	95,89
	Retrofit	236,23	1,59	170,70		193,21	11,7	7,37	

Contoh perhitungan daktilitas (Kolom asli A.1) :

Dik :

$$\Delta u = 6.9 \text{ mm}$$

$$\Delta y = 2.42 \text{ mm}$$

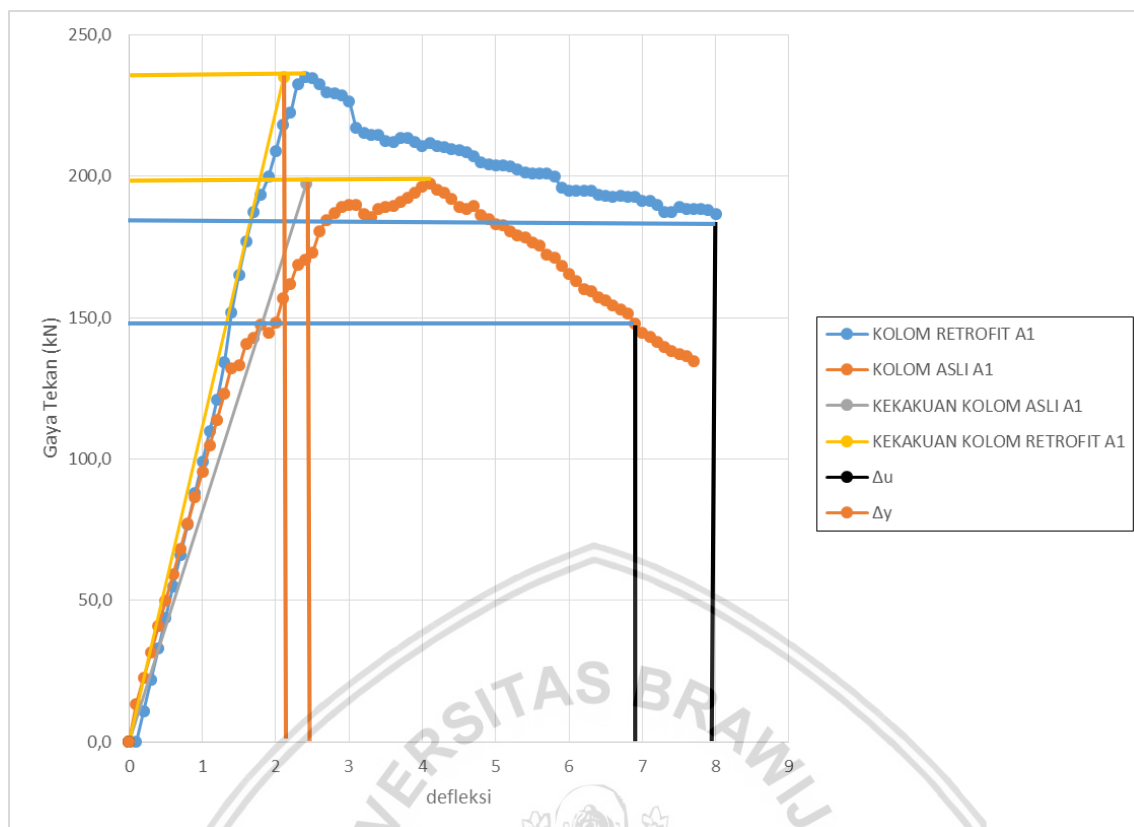
Dit : μ_{Δ}

Jawab :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

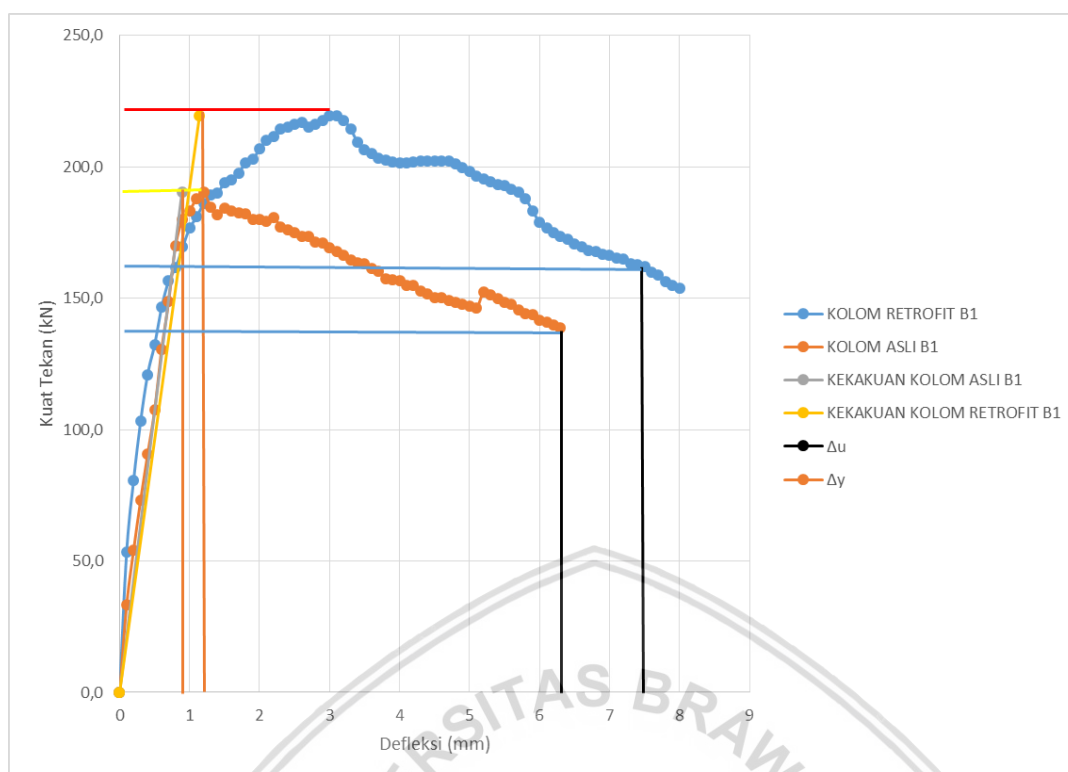
$$\mu_{\Delta} = \frac{2.42}{6.9}$$

$$\mu_{\Delta} = 2.85$$



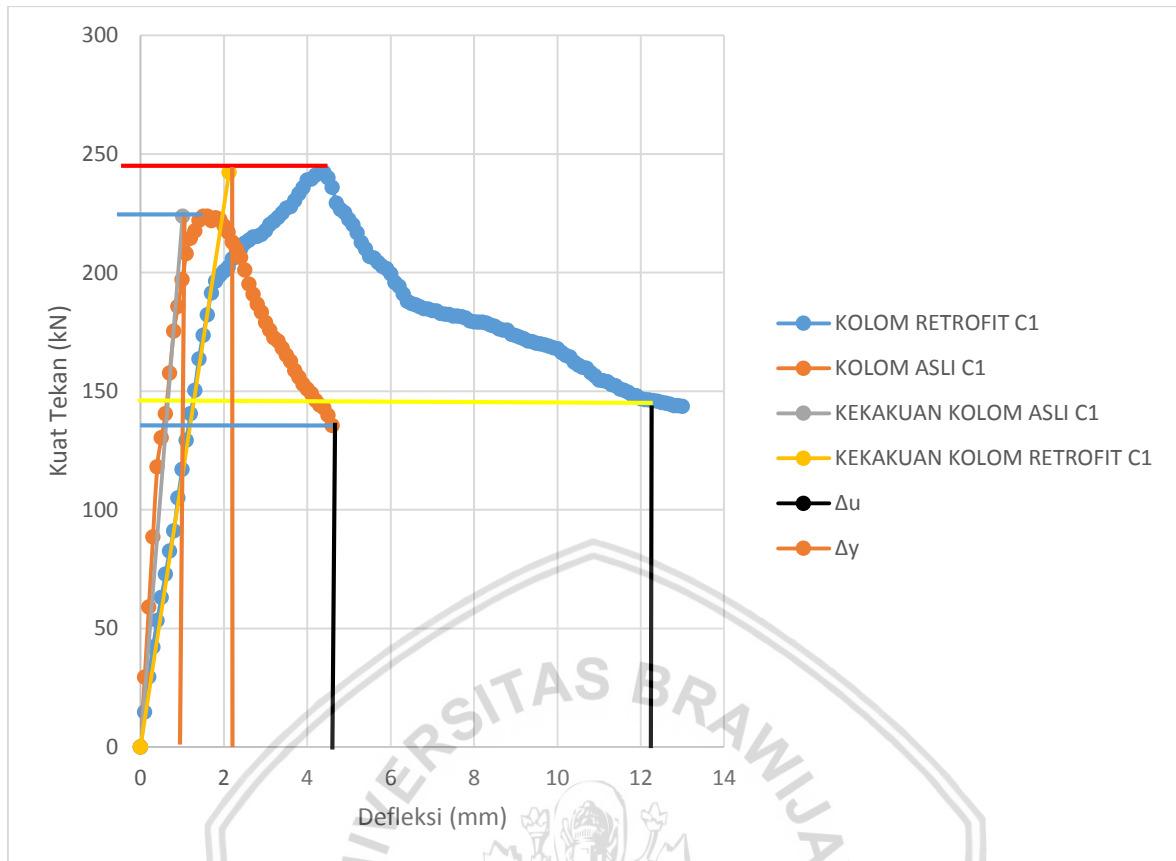
Gambar 4.29. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli A.1 dengan kolom retrofit A.1

Hasil analisis pebandingan daktilitas pada kolom asli A.1 dan kolom retrofit A.1 dengan penentuan deformasi leleh sebesar 75% dari beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 79,36 % dari beban puncak saat turun. Dari grafik tersebut didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli A.1 sebesar 2,85 dan pada kolom retrofit sebesar 3,79. Apabila dari kedua hasil daktilitas tersebut dipresentasikan maka terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit A.1 sebesar 32,89% dari daktilitas kolom asli A.1.



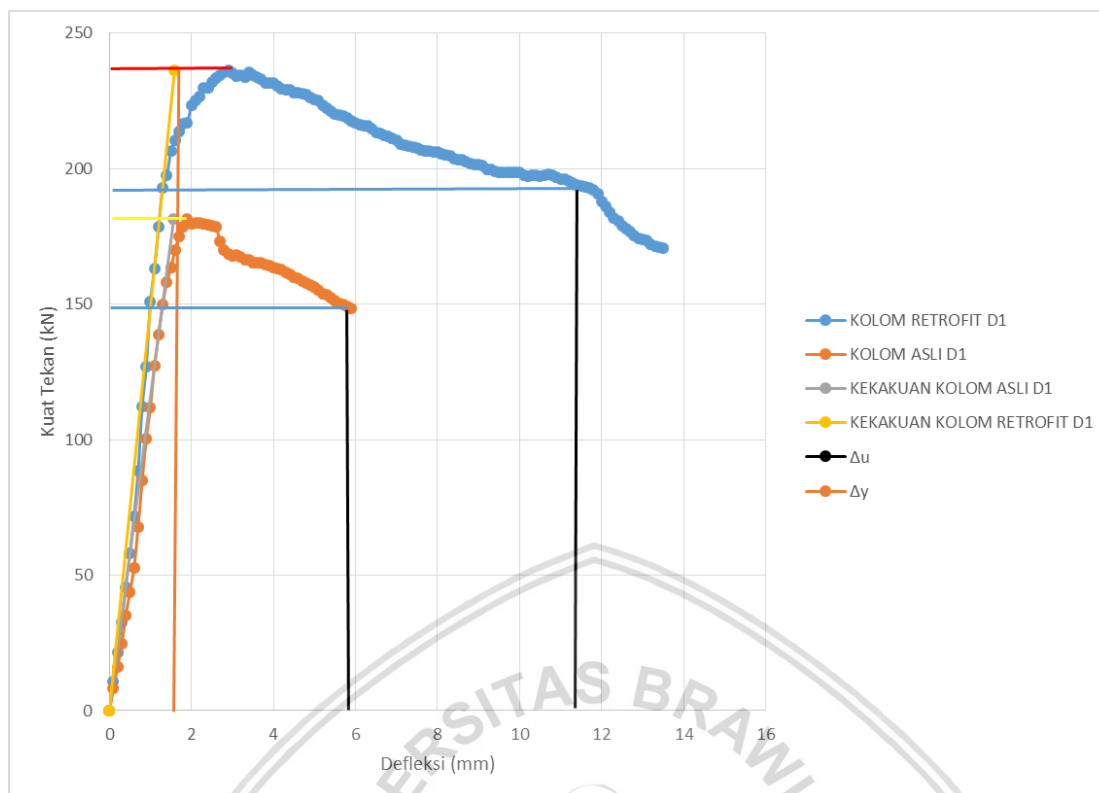
Gambar 4.30. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli B.1 dengan kolom retrofit B.1

Hasil analisis perbandingan daktilitas pada kolom asli B.1 dan kolom retrofit B.1 dengan penentuan deformasi leleh sebesar 75% dari beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 72,81 % dari beban puncak saat turun. Dari grafik terlihat bahwa apabila deformasi ultimate berada beban benar-benar runtuh maka kolom retrofit B.1 akan lebih daktil dibandingkan dengan kolom asli B.1. Grafik diatas hanya menunjukkan deformasi ultimate pada titik 72,81% dari beban puncak saat turun dikarenakan pada saat pengujian kolom asli, beban dihentikan saat angka beban menunjukkan 72,81% dari beban puncak saat turun. Oleh sebab itu nilai daktilitas pada kolom asli B.1 lebih besar dibandingkan kolom retrofit B.1. Kolom asli B.1 memiliki nilai sebesar 7,08 dan pada kolom retrofit sebesar 6,63. Apabila dari kedua hasil daktilitas tersebut dipresentasikan maka terjadi penurunan daktilitas pada kolom retrofit B.1 sebesar 4,66% dari daktilitas kolom asli B.1.



Gambar 4.31. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli C.1 dengan kolom retrofit C.1

Hasil analisis perbandingan daktilitas pada kolom asli C.1 dan kolom retrofit C.1 dengan penentuan deformasi leleh sebesar 75% dari beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 60,53 % dari beban puncak saat turun.. Dari grafik tersebut didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli C.1 sebesar 4,55 dan pada kolom retrofit sebesar 5,74. Apabila dari kedua hasil daktilitas tersebut dipresentasikan maka terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit C.1 sebesar 25,99% dari daktilitas kolom asli A.1.



Gambar 4.32. Grafik perbandingan daktilitas kolom asli D.1 dengan kolom retrofit D.1

Hasil analisis perbandingan daktilitas pada kolom asli D.1 dan kolom retrofit D.1 dengan penentuan deformasi leleh sebesar 75% dari beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 81,79 % dari beban puncak saat turun. Dari grafik tersebut didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli D.1 sebesar 3,76 dan pada kolom retrofit sebesar 7,37. Apabila dari kedua hasil daktilitas tersebut dipresentasikan maka terjadi kenaikan daktilitas pada kolom retrofit D.1 sebesar 95,89% dari daktilitas kolom asli D.1.

4.7 Analisis Efektifitas Kolom Retrofit

4.7.1 Analisis Efektifitas Kolom Retrofit A1 dengan Kolom Retrofit C1

Setelah mendapatkan data dari hasil pengujian pada penelitian perbaikan pada kolom retrofit A.1 dan kolom retrofit C.1 didapatkan hasil bahwa pada kolom retrofit C1 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dengan dimensi 10 x 20 mm dan rasio tulangan sebesar 2,47 lebih efektif dalam menambah kekakuan, modulus elastisitas dan peningkatan nilai daktilitas pada kolom asli dibandingkan dengan kolom retrofit A.1 yang dipasang 4 buah tulangan bambu longitudinal dengan dimensi 10 x10 mm dan rasio tulangan sebesar 1.23. Kekakuan dan modulus elastisitas pada kolom C.1 lebih besar 2,22% dibandingkan dengan kekakuan dan modulus elastisitas pada kolom A.1 dan pada hasil daktilitas yang didapatkan dari kedua tipe kolom tersebut, kolom retrofit pada A.1 lebih efektif karena

mengalami peningkatan daktilitas sebesar 32,89% dari kolom asli A.1 dibandingkan dengan kolom retrofit C.1 yang hanya mengalami peningkatan nilai daktilitas sebesar 25,99% dari kolom asli.

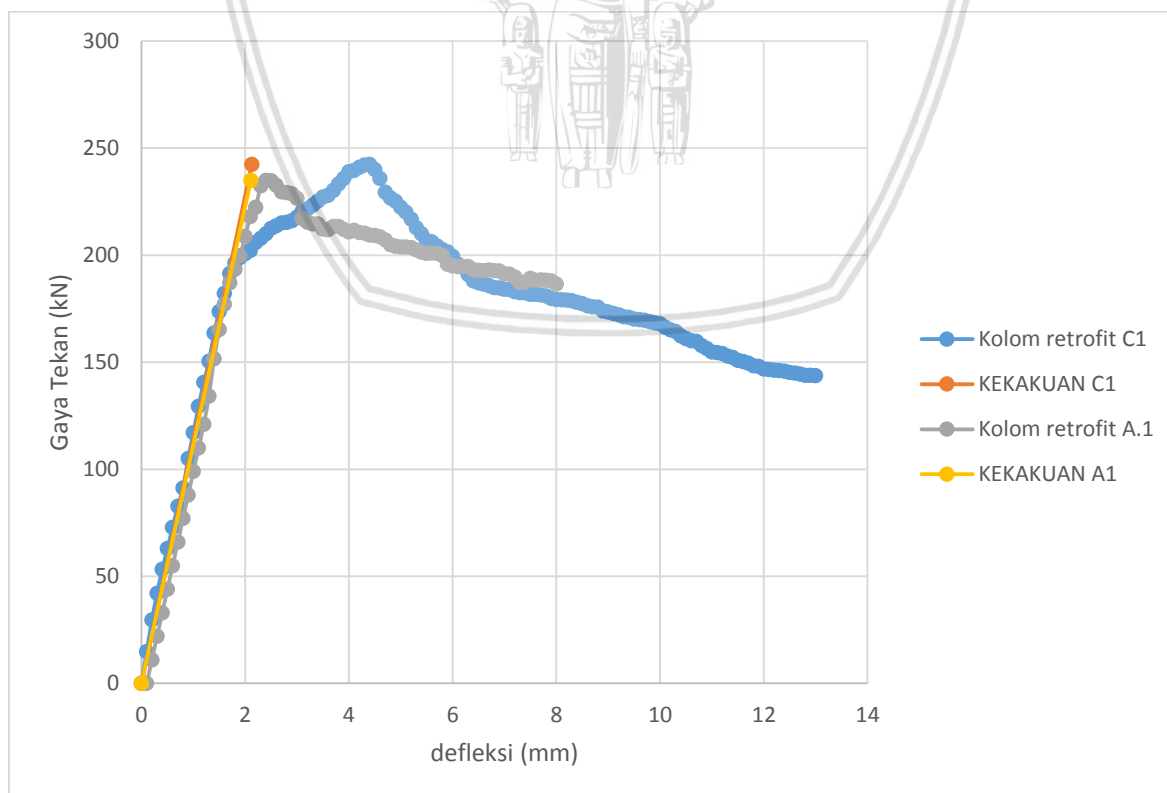
Hasil analisis perbandingan kolom retrofit A.1 dengan kolom retrofit C.1 dapat dilihat pada tabel 4.31, gambar 4.42, dan gambar 4.43

Tabel 4.15

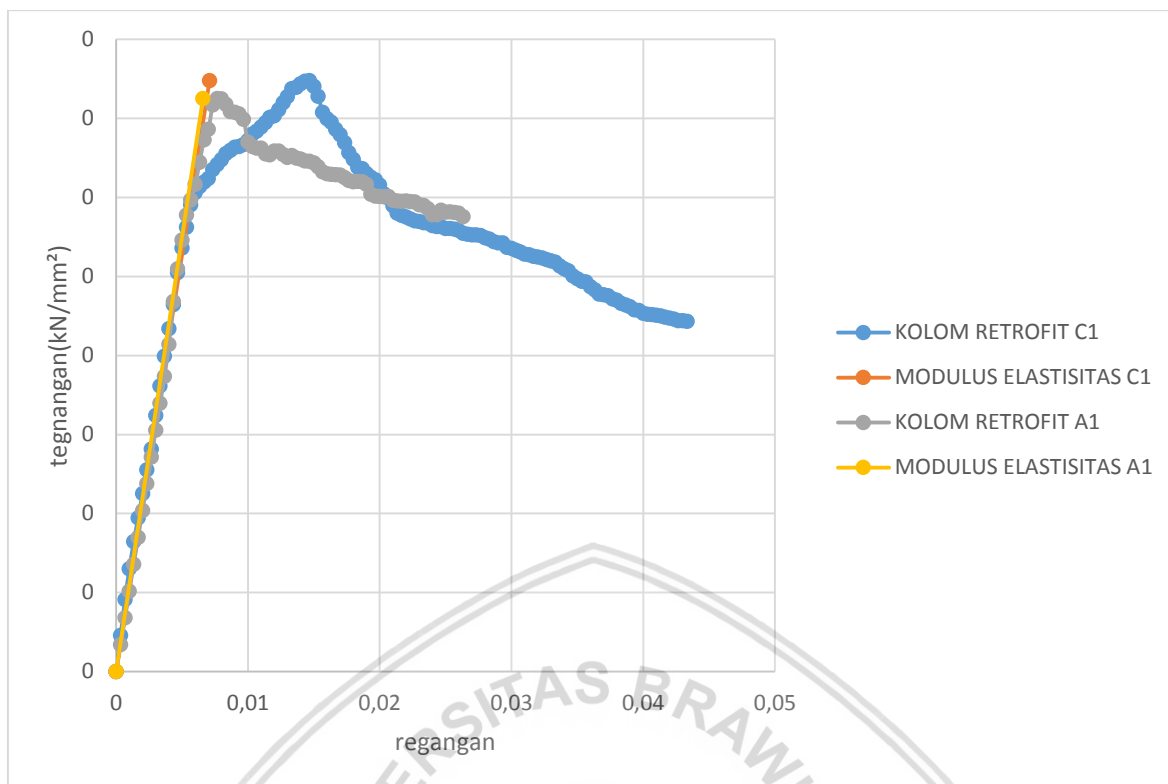
Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit A.1 dengan kolom retrofit C.1

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Defleksi Maksimum (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	Peningkatan Daktilitas (%)
1	A1	235	8	111,42	1,031	32,89
2	C1	242,4	5,9	113,96	1,05521	25,73

Dari data – data yang telah diperoleh dan di analisis, maka dapat disimpulkan kolom retrofit C.1 dengan rasio tulangan 2,47 lebih efektif dalam menambah kekakuan, modulus elastisitas dibandingkan dengan kolom retrofit A.1 dengan rasio tulangan 1,23. Untuk kolom A.1 dengan rasio tulangan 1,23 lebih efektif dalam meningkatkan nilai daktilitas dibandingkan kolom C.1.



Gambar 4.33. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom retrofit A.1-C.1



Gambar 4.34. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom retrofit A.1-C.1

4.7.2 Analisis Efektifitas Kolom Retrofit B.1 dengan Kolom Retrofit D.1

Setelah mendapatkan data dari hasil pengujian pada penelitian perbaikan pada kolom retrofit B.1 dan kolom retrofit D.1 didapatkan hasil bahwa pada kolom retrofit B1 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dengan dimensi 10 x 5 mm dan rasio tulangan sebesar 1.23 lebih efektif dalam menambah kekakuan dan modulus elastisitas pada kolom asli dibandingkan dengan kolom D.1 yang dipasang 8 buah tulangan bambu longitudinal dengan dimensi 10 x10 mm dan rasio tulangan sebesar 2,47. Kekakuan dan modulus elastisitas pada kolom B.1 lebih besar 22,64% dibandingkan dengan kekakuan dan modulus elastisitas pada kolom D.1. Akan tetapi pada hasil daktilitas yang didapatkan dari kedua tipe kolom tersebut, kolom retrofit pada D.1 lebih efektif karena mengalami peningkatan daktilitas sebesar 95,89% dari kolom asli D.1 dibandingkan dengan kolom retrofit B.1 yang mengalami penurunan daktilitas sebesar 4,66% dari kolom asli.

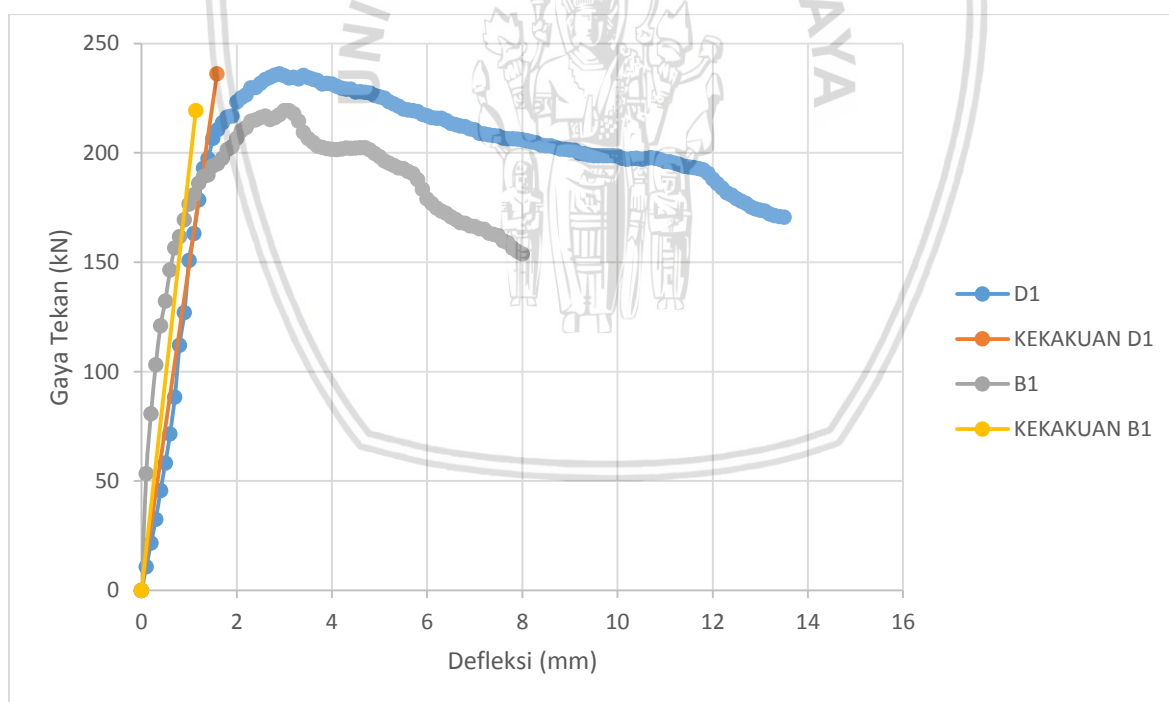
Hasil analisis perbandingan kolom retrofit B.1 dengan kolom retrofit D.1 dapat dilihat pada tabel 4.15, gambar 4.42 , dan gambar 4.43

Tabel 4.16

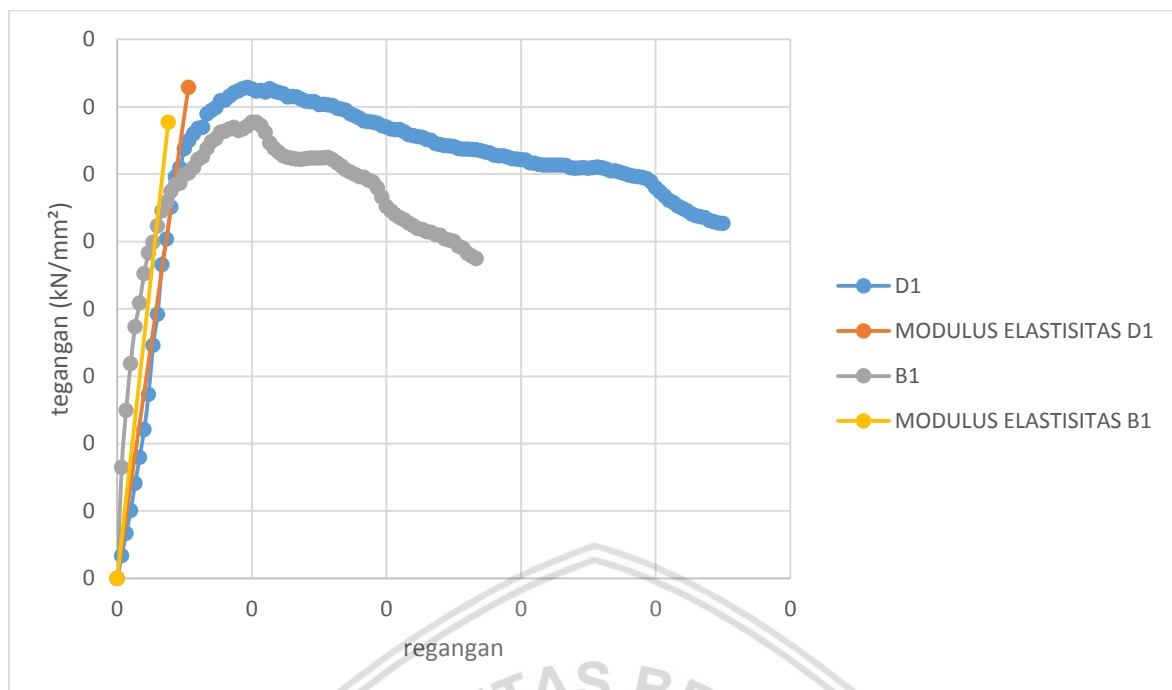
Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit B.1 dengan kolom retrofit D.1

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Defleksi Maksimum (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	Peningkatan Daktilitas (%)
1	B1	219,4	8	192,34	1,78091	-4,66
2	D1	236,2	13	148,8	1,37773	95,89

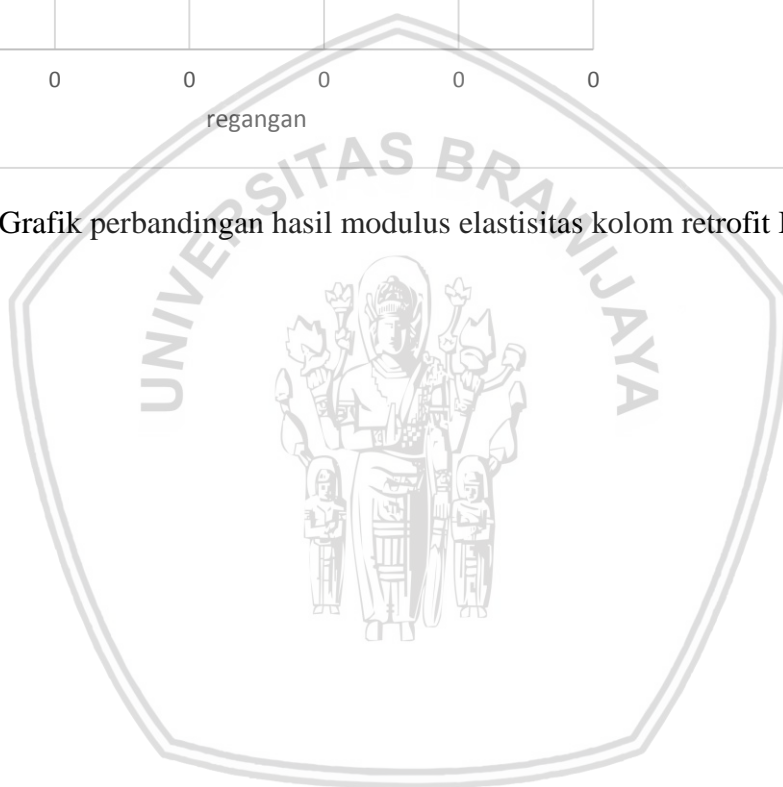
Dari data – data yang telah diperoleh dan di analisis, maka dapat disimpulkan pada penelitian ini kolom retrofit B1 dan D.1 untuk rasio tulangan yang lebih besar tidak memiliki hasil yang sesuai teori yang dimana seharusnya kolom dengan rasio tulangan yang lebih besar memiliki nilai kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih besar, sedangkan untuk nilai daktilitas seharusnya memiliki peningkatan nilai daktilitas yang lebih kecil dibandingkan dengan kolom yang memiliki rasio tulangan yang lebih kecil. Hal ini mungkin terjadi dikarenakan tidak meratanya saat pengecoran sehingga didalam kolom beton memiliki banyak rongga.



Gambar 4.35. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom retrofit B.1-D.1



Gambar 4.36. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom retrofit B.1-D.1





BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan maksimum yang mampu diterima oleh kolom retrofit A.1 lebih besar 16,08% dibanding nilai kuat tekan maksimum kolom asli A.1, nilai kuat tekan maksimum kolom retrofit B.1 lebih besar 13,2% dibanding nilai kuat tekan maksimum kolom asli B.1, nilai kuat tekan maksimum kolom retrofit C.1 lebih besar 7,62% dibanding nilai kuat tekan maksimum kolom asli C.1 dan nilai kuat tekan maksimum kolom retrofit D.1 lebih besar 23,21% dibanding nilai kuat tekan maksimum kolom asli D.1

2. Kolom retrofit C.1 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 20 mm dengan rasio tulangan sebesar 2,47 memiliki nilai kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit A.1 yang dipasang 4 buah tulangan dengan rasio tulangan sebesar 1,23. Apabila dipersentasikan, kolom retrofit C.1 memiliki nilai kekakuan yang lebih besar 2,22% dibandingkan kolom A.1.

Kolom retrofit B.1 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 10 x 5 mm dengan rasio tulangan sebesar 1,23 memiliki nilai kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit D.1 yang dipasang 8 buah tulangan dengan nilai rasio tulangan sebesar 2,47. Apabila dipresentasikan, kolom retrofit B.1 memiliki nilai kekakuan yang lebih besar 22,63% dibandingkan kolom D.1. Pada penelitian ini kolom retrofit dengan rasio tulangan yang lebih besar didapatkan hasil bahwa nilai modulus elastisitas dan kekakuan tidak sesuai dengan teori yang dimana seharusnya pada kolom yang memiliki rasio tulangan yang lebih besar memiliki nilai modulus elastisitas dan kekakuan yang lebih besar pula.

3. Pada nilai peningkatan daktilitas dari kolom asli ke kolom retrofit, kolom A.1 memiliki nilai yang lebih besar yaitu 32,89 % dibanding dengan kolom retrofit C.1 yang hanya mengalami peningkatan daktilitas sebesar 25,99% dari kolom asli.

Pada nilai peningkatan daktilitas kolom asli ke kolom retrofit, kolom D.1 lebih baik dalam meningkatkan nilai daktilitas yaitu 95,89% dari kolom asli ke kolom retrofit

dibandingkan dengan kolom B.1 yang sebaliknya malah mengalami penurunan daktilitas sebesar 4,66% dari kolom asli

4. Pada analisis kolom retrofit A.1 dan kolom retrofit C.1, kolom retrofit C.1 memiliki nilai kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit A.1. Sedangkan untuk peningkatan daktilitas, kolom retrofit A.1 memiliki nilai peningkatan daktilitas yang lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit C.1.

Pada analisis kolom retrofit B.1 dan kolom retrofit D.1 secara teori seharusnya kolom D.1 memiliki nilai kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dan peningkatan daktilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan kolom B.1 karena kolom D.1 memiliki rasio tulangan longitudinal bambu yang lebih besar dibandingkan dengan kolom B.1. Namun pada penelitian ini hasil dari nilai kekakuan dan modulus elastisitas menunjukkan bahwa kolom B.1 lebih baik dibandingkan dengan kolom D.1 sedangkan peningkatan daktilitasnya lebih besar dibandingkan dengan kolom B.1. Hal ini mungkin saja terjadi dikarenakan kurang menyatunya antara kolom dan tulangan atau juga bisa dikarenakan pada saat pengecoran, rongga-rongga pada beton belum terisi secara maksimal

5.2 Saran

Saran yang bisa diberikan peneliti untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Ukuran dimensi pada kolom retrofit diperbesar sehingga jarak antara kolom asli dan kolom retrofit lebih lebar agar pada saat pengecoran tidak menyisakan rongga-rongga yang tidak terisi oleh beton sehingga dapat mengakibatkan hasil yang diinginkan pada kolom tidak maksimal.
2. Mengganti beton dengan mortar pada saat pengecoran kolom retrofit agar lebih mudah saat pelaksanaan dan hasil beton lebih seragam.
3. Pada saat pengujian, pastikan peralatan dan perlengkapan yang akan dipakai sudah siap untuk dipakai. Pada penelitian ini ada beberapa kolom yang pada saat pengujian, posisi dial gauge tidak menempel pada plat sehingga mengakibatkan pembacaan defleksi tidak terbaca secara sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Budi, A.S. & Sugiyarto 2013. *Kuat Lekat Tulangan Bambu Wulung dan Petung Takikan Pada Beton Normal*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7). Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Diphosudo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Hongmei, Z, dkk. 2014. *Seismic and Power Generation Performance of U-Shaped Steel Connected PV-Shear Wall under Lateral Cyclic Loading*. International Journal of Photoenergy. Vol. 2014.
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Nafiri Offset. Yogyakarta.
- Mulyono, T. 2004., *Teknologi Beton*, Andi, Yogyakarta.
- Mustafa, S. 2010. *Karakteristik Sifat Fisika dan Mekanika Bambu Petung pada Bambu Muda, Dewasa, dan Tua*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Nawy, E.G. 1985. *Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar*. Suryoatmono B, penerjemah. Bandung : PT. Refika Aditama. Terjemahan dari : Reinforced Concrete – A Fundamental Approach.
- Nurlina, S. 2008. *Struktur Beton*. Bargie Media. Malang.
- Park, R.. 1988. *Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing*. New Zealand : Departement of Civil Engineering, University of Canterbury.
- Park, R. & Paulay, T. 1974. *Reinforced Concrete Structures*. New Zealand : Departement of Civil Engineering, University of Canterbury.
- Razvi, S. & Saatcioglu, M. 1999. *Confinement Model for High-Strength Concrete*. Journal of Structural Engineering.
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2847-2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- Wibowo, A. Hidayat., M.T. & Rochim, A. 2009. *Variasi Volume Tulangan Transversal dengan Inti Beton Terhadap Daktilitas Aksial Kolom Beton Bertulang*. Jurnal Rekayasa Sipil. Vol. 3 (3), halaman 181-191.
- Wibowo, A., Wijatmiko, I. & Nainggolan, C.R. 2017. *Structural Behavior of Lightweight Bamboo Reinforced Concrete Slab with EPS Infill Pan*. AIP Conference Proceedings, 2017.
- Wonlele, T., Dewi, S.M. & Nurlina, S. 2013. *Penerapan Bambu Sebagai Tulangan Dalam Struktur Batang Beton Bertulang*. Jurnal Rekayasa Sipil. Vol.7 (1), halaman 1-12.

